

ОБЩЕСТВО ПОЧВОВЕДОВ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА

ПОЧВЫ – ОПОРА РОССИИ

**Тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им.
В.В.Докучаева**

Казань, 12-16 августа 2024 г.

**Москва – Казань
2024**

УДК 631.4
ББК 40.3
П 65

Ответственные реакторы
П.В. Красильников, Н.О.Ковалева, Е.М. Столпникова

П 65 **Почвы – опора России:** тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Казань, 12-16 августа 2024 г.). /Отв. ред.: П.В. Красильников, Н.О. Ковалева, Е.М. Столпникова. – Москва-Казань: МАКС-Пресс. 2024. 800 с.

ISBN

Сборник содержит рабочие материалы докладов по теоретическим и прикладным проблемам почвоведения, методологии исследований и региональным особенностям почв и почвенного покрова, представленных на съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева.

© МАКС-Пресс, 2024
© Коллектив авторов, 2024

(А) I КОМИССИЯ. ФИЗИКА ПОЧВ. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 641.4

МИНИМАЛЬНЫЙ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫЙ ОБЪЕМ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РАЗНОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАЗРЕШЕНИИ.

Абросимов К.Н.

ФГБНУ ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва. Abrosimov_KN@esoil.ru

Применение метода компьютерной томографии для изучения структуры и свойств почв для решения различных задач отмечается в разных странах на протяжении сорока лет. В последние годы вместе с бурным развитием компьютерных технологий стали развиваться методы программной обработки и анализа объемных томографических данных. В настоящее время доступны томографические методы исследования структуры и порового пространства в диапазоне от 1 микрометра и грубее. Осуществляются попытки совмещения различных методов с компьютерной томографией для более детального изучения структуры на наноуровне структурной организации.

Образцы почвы в значительной части исследований или цилиндрической формы или как отдельные фрагменты (частицы, агрегаты). В объеме их оцифрованной структуры (стека данных) часто вырезается куб с различной стороной, чаще всего в диапазоне от 500 до 1000 пикселей по которому рассчитывается ряд объемных показателей – общая пористость, связность пор, количество пор, их распределение по размерам и др. Встает вопрос – достаточно ли этого объема что бы экстраполировать данные на как минимум на весь объект исследования или хотя бы на регион отбора образцов. Нередко можно встретить публикации, представленные или с несколькими повторностями или даже без них, где никаких упоминаний о минимальном репрезентативном объеме для данного объекта не встретить. При этом в проворностях отмечается сильная вариабельность показателей, что может быть как следствием ошибочно выбранного объема, так и свойствами пространственной организации структуры почвы или ее сезонными свойствами (если для КТ-исследования почва предварительно не высушена).

Исследования, направленные на оценку минимального репрезентативного объема образца почвы для компьютерной томографии, пока что встречаются нечасто и исключительно для отдельных почв: Rhodic Ferralsol (Jaqueline A.R. и др. 2018), Luvic Reti Greyzemic Phaeozems (Fomin D., и др. 2023). Для оценки структуры порового пространства используются показатели с различной вариабельностью. Высокой – количественные (кол-во пор, закрытых пор и др.), и низкой – общая, открытая, закрытая пористость, связность и др. Минимальный репрезентативный объем для них будет разным. Используя анализ вариограмм было установлено что для почв с высокой пространственной неоднородностью на уровне педона необходима 7-9х повторность образцов объемом ок. 40см³., при условии исследования на мезоуровне структурной организации (разрешение 11мкм.) При этом для пашни допустима более низкая повторность, для лесной почвы – более высокая. (Fomin D., и др. 2023).

Исходя их опубликованных результатов можно предположить, что для микроструктуры достаточно относительно небольшой выборки образцов с объемом, который пока предстоит оценить для различных объектов. При этом чем разнообразнее структура – тем значительно больше должна быть выборка для статистически достоверного результата.

УДК 631.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ В РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ

Азовцева Н.А.¹, Парфенова А.М.²

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail Azovtseva@mail.ru;

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail parf_07@mail.ru

Городские почвы отличаются неустойчивостью, мобильностью своего экологического состояния в условиях городских ландшафтов, изменением своей территориально-хозяйственной категории. Необходим постоянный мониторинг функционирования почв в городской среде в соответствии с принятым на регулирующем уровне Законом города Москвы.

Были проведены исследования пластической прочности пенетрационным методом с помощью конического пластомера для образцов верхних горизонтов городских почв тестовых территорий подвергнувшихся трансформации в результате влияния техногенных факторов. Были изучены прочностные свойства почв исходно слабо-среднедерново-урбоподзолистых на флювиогляциальных отложениях (Sod-podzolic soil) в точках Т1, Т2, Т3 вблизи Технопарка на улице Салтыковская в районе Новокосино ВАО города Москвы и урбанозёмов (Urbic technosol (Eutric, Siltic) вблизи ЖБК «Ростокино» в точках Т8, Т9, Т10, находящихся рядом с фестивальной площадкой «Московские сезоны» на пересечении улицы Серебрякова и улицы Амундсена в районе Свиблово СВАО г. Москвы.

Были измерены электропроводность и магнитная индукция почв исследованных тестовых территорий. Определён гранулометрический состав для проб почв, взятых послойно по глубине с интервалом 5-7 сантиметров. На основании исследований почв были проведены определения 10 элементов, включая тяжелые металлы.

Прочность почв зависит, в числе прочего, от их ферримагнитного состояния. Почвенный магнетизм является ведущим фактором взаимосвязи почвенных параметров: содержания в почве железа и общего количества металлов в почвенном профиле, содержания и распределения гумуса в слоях почв.

Был разработан прибор (регистрационный номер № 2021666155/69) названный «Магнитометр ВОЛНА-2» (Азовцева Н.А., Францев В.В., 2021). Прибор способен измерять магнитное поле Земли над поверхностью и в толще почвы с привязкой к географическим координатам и времени. Измерения выполнены в пятидесятикратной повторности с использованием разработанного авторами пакета программ (Азовцева Н.А., Францев В.В., 2020; Азовцева Н.А., Францев В.В., 2021; Азовцева Н.А. Францев В.В., 2022).

Были проведены сравнительные исследования магнитных параметров почв исследуемых участков.

Обнаруженная некоторая корреляция магнитных параметров почв с другими исследованными свойствами образцов почв может являться способом наблюдения за экологической устойчивостью городских почв.

УДК 631.437

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ МЕРЗЛОТНЫХ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ

Алексеев А.А., Чевычелов А.П.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск,

e-mail: alex3.fromru@gmail.com

Магнитная восприимчивость мерзлотных тундровых почв Северной Якутии интересна как универсальный показатель процессов, протекающих в почве. Параметр магнитной восприимчивости почвы (МВ) в последнее время становится интегральным показателем в почвоведении при решении почвенно-генетических и почвенно-экологических задач. В этой связи выявление этого параметра для мерзлотных почв Северной Якутии особенно актуально. Здесь на формирование почвенного покрова огромное влияние оказывают криогенные процессы в виде наличия многолетней мерзлоты (ММ), особенностей микро- и мезорельефа территории тундрового ландшафта, резко континентального холодного

характера климата региона. Целью работы являлось определение показателей объемной (ОМВ) и удельной (УМВ) магнитной восприимчивости почвы для основных типов почв Яно-Индибирской низменности Северной Якутии. Полевой отбор проб проводился в летний период 2022-2023 гг. на территории Национального парка «Кыталык». Из каждого разреза отбор проб осуществлялся по генетическим горизонтам до ММ. Разрезы были заложены на основных элементах мезо- и микрорельефа, характерных для равнинных тундр Якутии. Были исследованы мерзлотные тундровые глеевые почвы в том числе на поверхности едомы на которых формируется зональная пушицево-кустарничковая тундра с ерником в сочетании с пушицево-осоковыми болотами в мочажинах (максимальные абсолютные отметки данного участка едомы в её южной части составляли 50,8 м) и мерзлотные аллювиальные почвы данного района (абсолютные высоты здесь составляют 9,6-10,6 м). Мерзлотные тундровые глеевые почвы являются преобладающими (60%) в зоне равнинных тундр Якутии. Формирование различных подтипов тундровых глеевых почв обусловлено соотношением процессов оглеения и накопления органического вещества, при обязательном участии процессов мерзлотного растрескивания и массообмена. Мерзлотные аллювиальные темногумусовые почвы по степени увлажнения представлены подтипами глеевых и глееватых почв. В дельтах рек формируются менее оглеенные, легкие по механическому составу пойменные аллювиальные темногумусовые глееватые почвы, в поймах тундровой зоны и северной тайги – аллювиальные темногумусовые глеевые. Значения УМВ (χ) мерзлотных тундровых глеевых почв оказались ниже, чем в таковых мерзлотных аллювиальных темногумусовых почвах (табл.). Для всех подтипов тундровых глеевых почв характерно наличие органогенного слаборазложившегося горизонта в верхней части почвенного профиля и фульватный тип гумусовых соединений по всему профилю. Водный режим является одним из важнейших факторов влияния на магнитные свойства почв. Благодаря высокой теплоемкости и теплопроводности водная среда, в отличие от воздушной, существенно влияет на глубину сезонного протаивания мерзлотных почв. Мерзлотные аллювиальные темногумусовые почвы занимают повышенные участки неразвитых долин и развиваются под увлажненными вейниковыми лугами при участии болотной растительности. Они имеют различное морфологическое строение в зависимости от механического состава, характера материнских пород и типа профиля. Данные почвы характеризуются наличием дернового горизонта A_v мощностью 5-10 см, часто с наилком и минеральной глееватой или глеевой толщью, подразделяемой по степени выраженности оглеения на ряд подгоризонтов В, которые переходят в горизонт С, представленный суглинистым или песчаным аллювием. Здесь наблюдаются более высокие показатели УМВ, по сравнению с таковыми тундровых глеевых почв, при одних и тех же почвообразующих породах, представленных лессовидными суглинками или продуктами вторичного их переотложения и преобразования. Это связано с уменьшением степени оглеения мерзлотных тундровых почв в условиях увеличения их степени дренированности. Отношение $K = \chi_{\text{п}}/\chi_{\text{мп}}$ (где $\chi_{\text{п}}$ – среднее значение УМВ почвы, а $\chi_{\text{мп}}$ – УМВ материнской породы) служит количественным показателем роли почвообразования в показаниях магнитной восприимчивости. Магнитная восприимчивость верхних горизонтов автоморфных почв ($\chi_{\text{п}}$), а тундровые почвы здесь в основном автоморфные, всегда выше магнитной восприимчивости материнских пород $\chi_{\text{мп}}$. В мерзлотных аллювиальных темногумусовых глееватых почвах оно оказалась выше 1, а в мерзлотных тундрово-глеевых – ниже 1, что указывает на повышенную гидроморфность последних.

Таблица

Магнитная восприимчивость мерзлотных тундровых почв

Тип почв	Подтип почв	$\chi_{\text{ср.}} \cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^3$	$K = \chi_{\text{п}}/\chi_{\text{мп}}$
----------	-------------	--------------------------------------------------	----------------------------------------

Мерзлотные тундровые глеевые почвы	Мерзлотная тундровая перегнойно-глеевая	3,53*	0,67
	Мерзлотная тундровая перегнойно-глееватая	3,66	1,43
	Мерзлотная тундровая перегнойно-глееватая пирогенно-трансформированная	5,73	0,78
	Мерзлотная тундровая перегнойно-торфянисто-глеевая	2,32	0,48
Мерзлотные аллювиальные темногумусовые почвы	Мерзлотная аллювиальная темногумусовая глееватая	5,96	1,13

*Приведено средневзвешенное значение УМВ для почвенного профиля.

Более высокие показания УМВ тундровых глеевых почв имеют глееватые подтипы (на поверхности едомы) в отличие от глеевых, что является признаком влияния на данный показатель степени их гидроморфности. Также характерны более высокие по сравнению с тундровыми глеевыми почвами показатели магнитной восприимчивости тундровых аллювиальных почв. Конечно эти показатели значительно ниже таковых по сравнению с почвами средних широт. Но для мерзлотных почв тундровой зоны, где преобладают процессы оглеения, характерна высокая влагонасыщенность почв, низкие температуры и слабая степень разложения растительного опада, это разница значительна. Измерения других авторов показывают, что тундровые почвы имеют низкую магнитную восприимчивость, почти постоянную на всю глубину профиля. Естественно, что показатель магнитной восприимчивости не постоянен во времени и меняется в течении сезона в зависимости от окислительно-восстановительных процессов, протекающих в почве. В короткое северное лето при подсушивании верхнего горизонта, улучшается аэрация почв и восстановительные процессы сменяются окислительными. Несмотря на фульватный (диамагнитный) характер соединений гумуса в тундровых почвах, органический наилкок и мелкая пыль влияют на повышение магнитной восприимчивости, что также подтверждается литературными данными для почв средних широт. В исследованных мерзлотных тундровых глеевых почвах показатель магнитной восприимчивости по профилю имеет элювиальный характер, тогда как у аллювиальных темногумусовых магнитный профиль аккумулятивный, ввиду большего количества гумуса в верхней части профиля у последних, при одинаковых значениях УМВ в надмерзлотном горизонте.

ANALYTICAL VERSUS HYDRUS2D MODELING OF 2-D CAPILLARITY-DRIVEN SEEPAGE FROM BURIED TRENCH: KORNEV'S SUBSURFACE IRRIGATION METHOD REVISITED

A.R. Kacimov (ORCID: 0000-0003-2543-3219)^{1,2}, Yu.V. Obnosov (ORCID: 0000-0001-9220-7989)^{2,3}

¹Department of Soils, Water and Agricultural Engineering, P.O. Box 34, Al-Khod 123, Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman, anvar@squ.edu.om, akacimov@gmail.com

²Kazan Federal University, Institute of Mathematics and Mechanics, 420008 Kazan, Kremlevskaya 18, Russia, yobnosov@kpfu.ru

³Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Moscow oblast, 143030, Russia

Kornev (1935) suggested and tested two subsurface irrigation techniques, applied to roots' zones of crops cultivated in semi-arid and arid climates: 1) systematic emitters made of clay pipes and 2)

open trenches backfilled with a highly-porous material (e.g. coarse sand). The first technique was modeled by Kacimov and Obnosov (2017), Kacimov et al. (2018), and Obnosov and Kacimov (2018). In our work, we analyze the second Kornev technique, in which capillary wetting of a fine-textured “target” soil from a buried trench does not require an impeccable clay wall of the pipe. In our analytical model, gravity, Darcian resistance of the soil at full saturation but negative pressure, and capillarity are physical factors involved through Vedernikov’s seepage model. The flow domain is capped by a streamline- free surface (capillary fringe boundary) along which the pressure head is a negative constant, which is less than that at the sand-soil contact segment. For a small-depth trench, the hodograph domain is a tetragon and the complex potential domain is a half-strip such that conformal mappings are used for determination of the capillary discharge of the trench and free surface. In our numerical model, the initial and boundary value problems to the 2D Richards-Richardson equation are solved by HYDRUS2D (Radcliffe and Šimůnek, 2010) for a saturated-unsaturated two-component composite soil. The flow domain is half-strip (no free surface), a composite made of two Van Genuchten soils. The flow net, isobars, isotachs, isochrones, wetting fronts, specific discharges and its component, especially at the deep drainage segment of the HYDRUS domain are obtained and cross-compared with the analytical model. Both analytical and numerical results are compared with the trivial case of 1-D seepage through a three-layered composite (soil-sand-soil). Optimization problems similar to ones in Kacimov et al. (2019) for Ovsinsky’s two-component composites are formulated.

Acknowledgments

This work was supported by the grants DR\RG\17, IG/AGR/SWAE/22/02, IG/VC/WRC/21/01, Sultan Qaboos University, Oman, by the Kazan Federal University, Strategic Academic Leadership Program, Russia ("PRIORITY-2030") and by the Russian Scientific Foundation, interdisciplinary project no. 23-64-10002 and project # 19-77-30012.

References

- Kacimov, A. and Obnosov, Yu., 2017. Analytical solution for tension-saturated and unsaturated flow from wicking porous pipes in subsurface irrigation: the Kornev-Philip legacies revisited. *Water Resources Research*, 53 (3), 2542-2552.
- Kacimov, A., Obnosov, Yu.V. and Simunek, J., 2018. Steady flow from an array of subsurface emitters: Kornev's irrigation technology and Kidder's free boundary problems revisited. *Transport in Porous Media*, 121(3), 643-664.
- Kacimov A., Obnosov Yu.V. and Simunek, J., 2019. Minimizing evaporation by optimal layering of topsoil: revisiting Ovsinsky's smart mulching-tillage technology via Gardner-Warrick's unsaturated analytical model and HYDRUS. *Water Resources Research*, 55(5), 3606-3618.
- Kornev, V.G., 1935. *Subsurface Irrigation*. Selhoozgis, Moscow and Leningrad (in Russian).
- Obnosov, Yu.V. and Kacimov, A.R., 2018. Steady Darcian flow in subsurface irrigation of topsoil impeded by substratum: Kornev-Riesenkampf-Philip legacies revisited. *Irrigation and Drainage*. 67(3), 374-391.
- Radcliffe, D. and Šimůnek, J., 2010. *Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications*. CRC Press, Boca Raton.

УДК 631.412

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА*

Ахметзянова Р.Р., Раппопорт А.В., Тюгай З.Н., Умарова А.Б.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, riana1372@mail.ru

В середине прошлого столетия появилась тенденция быстрого увеличения численности городского населения, а в последние десятилетия происходит и стремительный рост площадей территорий городов. Это привело к необходимости более продуманного и обоснованного проектирования рекреационных зон в целях создания комфортной городской среды. На сегодняшний момент является очевидным, что комфортная городская среда — это

не просто развитая инфраструктура, а комплексно-организованная территория, включающая озеленение, снижение загрязненности различными поллютантами, светового и шумового загрязнения. Однако, высокое воздействие антропогенной и техногенной нагрузки отрицательно влияет на состояние зеленого каркаса условиях большого города.

Сохранение и создание зеленых зон в городах происходит за счет формирования пространств различного функционального назначения от аллей до парков. Особое место в этом ряду занимают ботанические сады, в которых, как правило, наряду с разнообразием представленной флоры аборигенных и инвазивных культур, имеется очень высокое разнообразие почвенных разностей от естественных зональных почв до конструкторземов. Большим преимуществом данных территорий для изучения почвенного и растительного покровов является проводимая научно-исследовательская работа, позволяющая оценить временные интервалы их трансформации и эволюции.

Одним из таких объектов является Ботанический сад МГУ имени М.В. Ломоносова. Сад проектировался и был заложен одновременно со строительством университета в 1949-1950 гг. К концу 1950-х годов уже были созданы степной участок, плодовый сад, альпийская горка, дендрарий, заложены аллеи и высажены деревья и кустарники семисот видов. Сегодня Ботанический сад является не только большим исследовательским центром, но и зоной досуга и отдыха горожан. На его территории регулярно проводятся мастер-классы, лекции и экскурсии. Это значит, что данная территория испытывает нагрузку сравнимую с территориями городских зон отдыха. Наличие объектов, доступ к которым имеют только научные сотрудники, дает возможность проводить сравнительный анализ состояния почвенного и растительного покровов с учетом различной степени антропогенной нагрузки. Летом 2023 года на территории Ботанического сада были выбраны отдельные участки для отбора проб с учетом истории их использования и современным функциональным назначением: вспаханный участок, участки, покрытые геотекстилем, мульчированным материалом, мульчей с капроном, участки газона, тропинки, участки под кронами отдельных деревьев, лесом и сорными растениями. В почвенных образцах определялись следующие свойства: плотность, твердость, коэффициент фильтрации и содержание общего углерода. По результатам эксперимента определено варьирование содержания общего углерода на всех участках от 4,5% под геотекстилем до 11,3% под мульчирующим покрытием. В среднем в почвенных образцах вспаханного участка, газона, тропинки, зоны сорных растений содержание углерода около 6%. Это подтверждает ранее полученные нами результаты об увеличении содержания углерода в почве при многолетнем укрытии её мульчей.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

УДК 631.43

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ ПОСЛЕ ВЫСУШИВАНИЯ

Горепекин И.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: decmebrist96@yandex.ru

Отбор полевых образцов обязателен при лабораторном исследовании почвенных свойств. Для приведения результатов экспериментов к единому знаменателю, то есть стандартизации, при изучении физических и химических свойств почвы высушивают до воздушно-сухого состояния. Однако у высушивания почв на воздухе есть недостаток – при удалении влаги меняются свойства почвенных образцов. Что происходит в почвах при высушивании и обратимы ли эти изменения? Для ответа на эти вопросы следует представить структурную организацию почв.

С позиции трехфазной модели структурной организации почв при высушивании коагуляционные связи частично необратимо переходят к кристаллизационно-

конденсационным между почвенными частицами. Например, выделяются нерастворимые вещества: алюмо- и железо-гуминовые гели. Такой подход фактически отрицает возможность восстановления почвенной структуры после высушивания почв.

С позиции гелевой модели почв процесс высушивания выглядит иначе. Почвенные гели уплотняются за счёт взаимного проникновения надмолекулярных образований (НМО) гуминовых веществ. Увеличение размера надмолекулярных образований при высушивании почв подтверждено данными электронной микроскопии: размер надмолекулярных образований из воздушно-сухих почв выше, чем из исходно влажных. Значит для восстановления структуры гелей следует отделить НМО друг от друга, то есть вернуть их исходный размер.

Целью работы являлся поиск способов возврата в лабораторных условиях гелей воздушно-сухих образцов почв к свойствам образцов, не подвергавшихся высушиванию.

Способ восстановления структуры гелей приобретает ценность, если он подходит для разделения НМО в различных почвах. Поэтому в исследовании использовали образцы почв: дерново-подзолистой, серой лесной, серой лесной грунтово-глеевой, чернозема выщелоченного, аллювиальной лугово-кислой, солонца светлого.

В работе использовали следующие методы: растровая электронная микроскопия – для определения размера надмолекулярных образований; лазерная дифрактометрия – для определения размера надмолекулярных образований; определение оптической плотности почвенных суспензий – для оценки содержания илистой и пылевой фракций почв; кондуктометрия почвенных суспензий – для сравнения прочности связи ионов в образцах почв; вибрационная вискозиметрия почвенных паст – для определения объемных долей твердой фазы и кинетически свободной воды.

Для отделения надмолекулярных образований гуминовых веществ друг от друга использовали следующие приёмы обработки почв:

прогрев – увлажнение почв, выдерживание во влажном состоянии до 14 дней и последующий прогрев до 95°C.

ультразвуковая обработка – увлажнение почв, выдерживание во влажном состоянии до 14 дней и последующая обработка в течение 30 минут при частоте 22 кГц и амплитуде 45 мкм; замораживание-оттаивание – увлажнение почв, выдерживание во влажном состоянии до 14 дней и последующая обработка циклами замораживания при -20°C.

Проведенные на растровом электронном микроскопе эксперименты показали, что нагрев и УЗ-обработка почвенных паст приводили не к уменьшению, а укрупнению размеров НМО в почвах. То есть таким способом НМО не удастся разделить. Вероятно, НМО не разделяются потому, что они преимущественно образованы гидрофобными связями, которые упрочняются с ростом температуры. С этих позиций механическое воздействие должно разделять НМО без повышения температуры. Поэтому для разделения НМО решили использовать замораживание образцов, при котором объем воды в почвах расширяется на 10%.

Возврат структуры почвенных гелей к исходному состоянию фиксировали при помощи вибрационной вискозиметрии, которая позволяет характеризовать структуру и способность гелей к набуханию. Эксперименты показывают, что при влажности для каждой почвы ниже определенной величины замораживание не влияет на изменение их вязкости. То есть для обеспечения подвижности частиц в образце почвы должно быть достаточное количество воды: от наименьшей влагоемкости (НВ) и выше.

На следующем этапе исследования мы сравнили вязкость почвенных паст трёх образцов: не подвергавшихся высушиванию; воздушно-сухих; воздушно-сухих, увлажненных и замороженных. Результаты экспериментов на дерново-подзолистой, серой лесной почве и черноземе показали, что вязкость высушенных образцов удастся восстановить до значений образцов, не подвергавшихся высушиванию. Для дерново-подзолистой почвы восстановление наблюдается через 2 недели после увлажнения воздушно-сухого образца до

влажности 30-32%, выдерживании в течении 2 недель и не менее 2 циклов замораживания-оттаивания. Для серой лесной почвы восстановление наблюдается через 2 недели после увлажнения воздушно-сухого образца до влажности 40-42%, выдерживании в течении 2 недель и не менее 1 цикла замораживания-оттаивания. Для чернозема восстановление наблюдается через 2 недели после увлажнения воздушно-сухого образца до влажности 40%, выдерживании в течении 2 недель и не менее 1 цикла замораживания-оттаивания. Объяснить полученные результаты можно тем, что при увлажнении воздушно-сухих почв до значений НВ влага равномерно распределяется по образцу в течение 14 суток, а последующая заморозка позволяет разорвать связи между НМО в почвенных гелях за счёт расширения заключенной в них воды.

На следующем этапе исследования мы проверили результаты вискозиметрии. Для этого методом лазерной дифрактометрии сравнили содержание частиц илистой фракции, а также мелкой и средней пыли в образце чернозема: не подвергавшегося высушиванию, воздушно-сухого и восстановленного замораживанием. Замораживание приводит к заметному росту числа мелких частиц – размером 3-10 мкм – в восстановленном замораживанием почвенном образце по сравнению с его воздушно-сухим аналогом. Сходные результаты были получены при изучении влияния восстановленных замораживанием почвенных образцов на оптическую плотность приготовленных из них водных вытяжек. Замораживание приводит к увеличению оптической плотности вытяжек.

Замораживание влажных почвенных образцов позволяет частично вернуть их структурную организацию к образцам почв, которые не подвергались высушиванию. Однако вернуть ионы в них в места исходного закрепления при помощи замораживания образцов не удастся. Таким образом, замораживание увлажненных воздушно-сухих образцов дерново-подзолистой, серой лесной почвы и чернозема позволяет приблизить структурную организацию их гелей к состоянию образцов, не подвергавшихся высушиванию, однако, как показывают эксперименты, это восстановление характерно не для всех почв.

Выводы

1. При высушивании почвенных образцов происходит укрупнение выделяемых из них надмолекулярных образований гуминовых веществ.
2. Нагрев и УЗ-обработка укрупняют размер надмолекулярных образований гуминовых веществ и не позволяют вернуть организацию почвенных гелей к состоянию образцов, не подвергавшихся высушиванию.
3. Показана возможность восстановления замораживанием структурной организации почвенных гелей высушенных почв: дерново-подзолистой, серой лесной почвы и чернозема до состояния не подвергавшихся высушиванию образцов.

УДК 631.436

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ТЕРРАС И ФОНОВЫХ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

Идрисов И.А.

Институт геологии ДФИЦ РАН, Махачкала, idris_gun@mail.ru

Горные почвы развиваются в специфических условиях. Одним из наиболее характерных из которых является их резкая дифференциация по температурному режиму. Это прямо обусловлено нахождением почв в горах, которые в основном и состоят из склонов различных экспозиций и крутизны. Это прямо определяет их крайнюю дифференциацию по термическому режиму. Для Восточного Кавказа эти особенности фоновых почв существенно усложняются наличием обширных территорий занятых антропогенными почвами земледельческих террас. Террасированные участки существенно отличаются от фоновых появлением большого числа территорий с существенно иными уклонами поверхностями, чем фоновые склоны, то есть с появлением грандиозного количества земледельческих террас

разных форм и размеров. Исследования температурного режима горных почв посвящена обширная литература. В последние годы в связи с появлением новых методов исследований появляется новый массив данных по изучению температурного режима почв. В частности? можно отметить использование квадрокоптеров оснащенных инфракрасной камерой, а также логгеров для записи в непрерывном режиме температуры и влажности почв.

В ходе наших работ в 2020-2023 годы проводились исследования почв Восточного Кавказа с помощью этих методов. В фоновые и террасовые почвы было установлено 9 логгеров, которые записывали данные температуры и влажности каждые два часа, начиная с 21.06.2022г вплоть до 28.05.2023г. Логгеры устанавливались на глубину примерно 8-10см от поверхности. Логгеры устанавливались в пределах среднегорий Восточного Кавказа на высотах 1300-1500м. На трех основных типах почвообразующих пород региона: аргиллитах средней юры, известняках нижнего мела, песчаниках нижнего мела. Логгеры устанавливались на склонах хребтов северной экспозиции (6 логгеров), и южной экспозиции (3 логгера). Основное внимание было уделено сравнению почв фоновых и террасных. Выбранные участки позволяли провести такое сравнение для относительно близких участков в пределах одной высоты, крутизны, типа пород. Полученные данные являются первым и предварительным опытом получения прямых данных мониторинга физических свойств горных почв региона. Для получения новых данных исследования на аналогичной аппаратуре продолжены в 2024г. Дополнительно проводились съемки температурного режима фоновых и террасированных склонов с помощью квадрокоптера.

Измерения влажности логгерами не дало значимой информации, а в течение большей части периода измерений замеры влажности были порядка 100%.

Фоновые почвы представлены горно-луговыми (темногумусовыми) почвами разных подтипов. В целом характеризуются схожим обликом гумусового горизонта мощностью от 15 до 30см. Почвы террас закладывались в области бровки террасы в зонах максимальной мощности террас со агростратифицированными почвами.

Измерение температур при этом позволило получить важные и крайне интересные данные.

В сравниваемых парах почв было установлено, что почвы террас для склонов северной экспозиции (группа 1) имеют температуру на 2-5 градусов выше, чем фоновые почвы склонов северной экспозиции (группа 2). Особенно сильные отличия отмечаются в октябре-ноябре и марте-апреле. Для температуры почв группы 1 колебалась от -7 до $+22^{\circ}$, а для группы 2 соответственно от -8 до $+18^{\circ}$ (рис. 1). Также обращает на себя внимание значительно большая разница в суточной амплитуде температур. Например, почвы группы 1 имеют суточную амплитуду в теплый период года порядка 8° , а почвы группы 2 – порядка 5° . При этом в короткие периоды (2-4суток) после выпадения сильных дождей (более 10мм) суточная амплитуда в обеих группах в течение нескольких суток сильно снижалась. В холодный период для почв группы 2 суточная амплитуда часто достигает менее 1градуса, а для почв группы 1 продолжительность таких периодов была минимальной и в целом отмечались изменения в течение суток с амплитудой 2-3 $^{\circ}$.

Контрастно с этим выглядит распределение температур на почвах террас склонов южной экспозиции (группа 3) и фоновых почв склонов южной экспозиции (группа 4.). Здесь отмечается противоположная ситуация. Средняя температура группы 3 на 4-6 градусов ниже, чем для группы 4. Если для группы 3 температура колебалась в пределах от -7 до $+24^{\circ}$, то для группы 4 – от -2 до $+29^{\circ}$. Также значительная разница отмечается при сравнении суточной амплитуды. Почвы группы 3 отличаются амплитуда в теплый период порядка 8° , а в холодный до 4° , кратковременно суточная амплитуда менее 1градуса. Почвы группы 4 резко отличаются. Для них характерна в течение большей части года суточная амплитуда порядка 20 градусов. В холодный период амплитуда снижается до 10 градусов, следует отметить, что периоды с меньшей суточной амплитудой для этой группы значительно меньше.

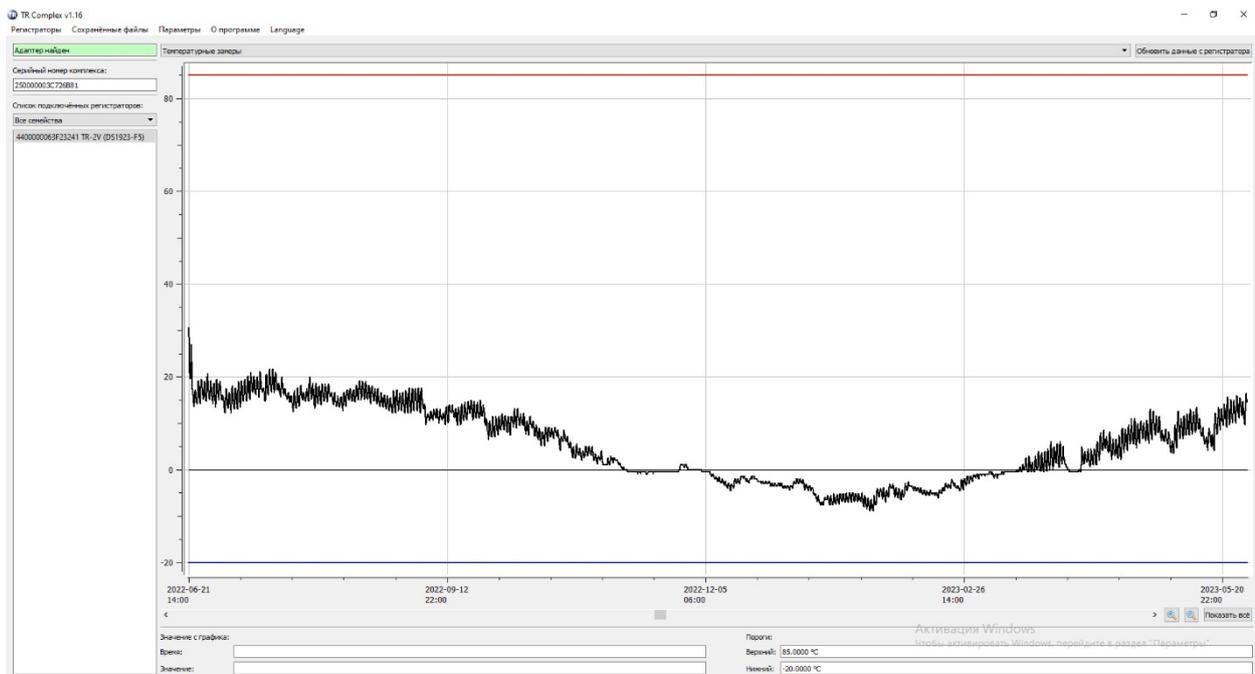


Рис. 1. Данные изменения температуры почвы. Аргиллиты средняя юра. Фоновая почва. Склон северной экспозиции.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы. Отмечается значительная общность температурного режима для исследованных фоновых почв трех типов почвообразующих пород на склонах северной экспозиции. Характерно выделение трех типов распределения температур: фоновые почвы склонов северной экспозиции, террасовые почвы обеих экспозиций, фоновые почвы южной экспозиции. Каждый из этих типов отличается специфическим режимом изменений температур.

УДК 631.41

ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ДЛЯ РАСЧЕТА РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

Каманина И.З.^{1,2}, Каплина С.П.^{1,2}, Макаров О.А.^{1,3}, Любимова А.В.^{1,4}

¹Государственный университет «Дубна», Дубна,

²Объединённый институт ядерных исследований, Дубна,

³МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,

⁴ВНИГНИ, Москва kamanina@uni-dubna.ru;

В Центральном федеральном округе (ЦФО) Российской Федерации на 01.01.2023 г. насчитывается 227 малых (до 50 тыс. жителей) и 33 средних (от 50 тыс. до 100 тыс. жителей) городов, что в сумме составляет 85,5% от всех городов округа. Экономика таких городов, в подавляющем большинстве случаев, определяется деятельностью предприятий обрабатывающей промышленности. Данный тип промышленной специализации оказывает значительное негативное воздействие на состояние окружающей среды и население города. Так, малые и средние города «вносят» до 45 % от общей величины загрязнения атмосферного воздуха ЦФО (при этом на долю малых городов приходится около 30 %). Для таких городов отсутствует корреляционная связь между показателями загрязнения атмосферного воздуха и количеством объектов, имеющих стационарные источники загрязнения. Анализ текущих затрат на охрану окружающей среды малых и средних городов ЦФО показал, что в краткосрочной перспективе не стоит ожидать существенного сокращения объемов выбросов в атмосферу от стационарных источников.

В настоящее время, в условиях цифровой трансформации современного общества возрастает потребность в оперативном всестороннем анализе комплекса имеющейся информации о состоянии природных компонентов и их возможных изменениях с целью своевременной объективной оценки уровня риска, ухудшения экологической обстановки и здоровья населения. Сегодня разработаны и применяются методики оценки экологического риска (в том числе, - риска для здоровья населения), основанные на обработке и анализе показателей состояния отдельных компонентов окружающей среды. Несмотря на то, что почва является базовым компонентом городских экосистем её роль в формировании уровня экологического риска остается недооцененной.

Цель исследования – провести прогноз загрязнения почв малых и средних городов с разным уровнем техногенной нагрузки при помощи балансового подхода для оценки экологических рисков.

Расчет пространственно-временных полей химического загрязнения городских почв г. Кольчугино (Владимирская область) и г. Дубны (Московская область) был выполнен с использованием балансовой модели, базирующейся на оценке потоков поступления, выноса и аккумуляции загрязняющих веществ, поступающих в почву с выпадениями из атмосферы. Исходными данными для расчетов являются концентрации валовых форм тяжелых металлов, полученные авторами после проведения площадных съемок почв и снежного покрова, проводимых с учетом функционального зонирования.

В почвах г. Дубны превышение установленных санитарно-гигиенических нормативов (ОДК) тяжелых металлов не выявлено. В почвах г. Кольчугино обнаружены превышения установленных ОДК: по кадмию на 75% территории города, по цинку – на 71 %, по меди – на 69 % и по свинцу – на 34 %. Выявленные ареолы загрязнения расположены в том числе в зоне жилой застройки.

На основе данных о содержании тяжелых металлов в почвах, полученных при помощи балансовой модели, был проведен прогнозный расчет достижения различных уровней загрязнения почв исследованных городов. Как показали расчеты, при современном уровне поступления тяжелых металлов с атмосферными выпадениями их содержание в почвах г. Дубны в течение ближайших 100 лет остается в пределах «допустимого» уровня загрязнения и не превысят ОДК. Более высокие уровни загрязнения почв г. Дубны при современном уровне атмосферного поступления тяжелых металлов не будут достигнуты в течение расчетного периода в 1000 лет.

Анализ данных пространственно-временных полей загрязнения почв в г. Кольчугино показал, что содержание тяжелых металлов в почвах в течение 100 лет остается в пределах уже существующего «среднего» и «низкого» уровня загрязнения. Среднее время достижения «низкого» уровня загрязнения почвами г. Кольчугино (в том случае, если этот уровень не достигнут) при современном поступлении с атмосферными выпадениями свинца, кадмия, меди, цинка составит тысячи и сотни лет. Вероятно, установленный уровень загрязнения почв тяжелыми металлами, на большей части территории города превышающий ОДК, связан в первую очередь с прошлой хозяйственной деятельностью предприятий цветной металлургии, существующей в городе с 1871 г. В настоящее время предприятия прошли существенную модернизацию, в том числе, - систем очистки выбросов, что привело к значительному сокращению объемов выбросов в атмосферу. Тем не менее, авторами было выявлено, что интенсивность выпадения меди и цинка убывает при удалении от территории промплощадки, где сосредоточены предприятия цветной металлургии. Для свинца и кадмия зависимость имеет менее выраженный характер, что указывает на поступление тяжелых металлов, в том числе от других источников, таких как городские котельные, автомобильный и железнодорожный транспорт и др.

На основе существующих и полученных прогнозных данных о содержании тяжелых металлов в почвах городов Дубна и Кольчугино была проведена оценка уровня риска для здоровья населения в соответствии с Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для

здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Так как большинство изученных металлов является канцерогенными, был рассчитан уровень индивидуального пожизненного канцерогенного риска для взрослого населения (учитывалось ингаляционное и пероральное воздействие на организм человека от загрязненной почвы).

Несмотря на отсутствие превышения ОДК тяжелых металлов в почвах г. Дубны суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения при загрязнении почв (в результате поступления свинца, кадмия и никеля) в 47% случаев находится на неприемлемом для населения уровне. На 53% территории население испытывает предельно допустимый (низкий) риск. При дальнейшем атмосферном поступлении загрязняющих веществ площадь территории города со средним (неприемлемым для населения) уровнем риска к 50 годам увеличится на 4% и составит 51%, а через 100 лет составит 60%.

Суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения г. Кольчугино при загрязнении почв (в результате поступления свинца и кадмия) находится на неприемлемом для населения уровне. В 17% случаев население испытывает средний и в 83% – высокий (De manifestis) уровень риска. И тот и другой уровень является неприемлемым для населения в целом. При дальнейшем атмосферном поступлении загрязняющих веществ площадь территории города с высоким уровнем риска через 50 лет составит 91% от общей площади города, а через 100 лет – 96%. Выявление высокого уровня риска требует проведения экстренных оздоровительных мероприятий, среднего уровня риска – проведения плановых мероприятий. В данном случае большинство мероприятий должно быть направлено на снижение уровня загрязнения почв г. Кольчугино.

Таким образом, на примере двух городов с разным уровнем техногенной нагрузки показана роль почв как базового компонента урбоэкосистем в формировании риска для здоровья населения. Необходимо создание доступных баз данных эколого-аналитической информации и программных средств для расчета необходимых показателей в автоматическом режиме, что позволит более эффективно решать экологические проблемы урбанизированных территорий в условиях техногенной нагрузки.

УДК 631.4:622.882

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Капелькина Л.П.

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, e-mail: kapelkina@mail.ru

На территории Западной Сибири в зоне освоения нефтяных месторождений преобладающими типами почв являются торфяно-болотные с различной степенью увлажнения, песчаные подзолы и подзолистые иллювиально-железистые почвы, формирующиеся на суходолах. Нарушенные земли различаются по местонахождению (болотные участки, суходола), форме (площадные объекты, линейные нарушения), площади (от нарушений в несколько десятков квадратных метров до десятков гектаров), возрасту (времени, прошедшем после нарушения), виду воздействия на земли (механические нарушения или загрязненные участки вследствие разливов нефти, буровых растворов, горюче-смазочных материалов) и другим параметрам.

Началу разработки нефтяных месторождений на заболоченных территориях Западной Сибири предшествует намыв на поверхность болот больших объемов песка со дна близ расположенных водоемов с помощью средств гидромеханизации. Складирование песка осуществляется в штабели, по форме напоминающие усеченный конус. Спустя 1-2 года после отдачи воды штабелем осуществляется развоз песка и последующее устройство песчаных насыпей – оснований под буровые площадки, дороги, промышленные объекты. Из-

за низкой несущей способности обводненных торфов освоение заболоченных ландшафтов Западной Сибири без проведения таких подготовительных работ практически невозможно. После завершения буровых работ и ввода скважин в промышленную эксплуатацию отработанные площади подлежат рекультивации.

Приоритетными направлениями рекультивации нарушенных земель в зоне деятельности нефтяных компаний являются 3 направления: лесохозяйственное, санитарно-гигиеническое (природоохранное) и водохозяйственное. Лесохозяйственное направление является преобладающим и обусловлено местонахождением отводимых земель преимущественно в лесной зоне.

Необходимость осуществления рекультивации как комплекса работ по восстановлению нарушенных земель, определяется в зависимости от площади нарушения, близости к источникам обсеменения, влажности грунтов, прогноза восстановления растительности и других параметров. Восстановление древесной растительности на заболоченных территориях происходит удовлетворительно на участках частичного разрушения лесных сообществ: трассы сеймопрофилей, перетаскивания бурового и иного оборудования, вдоль опушек леса. Сюда же можно отнести самозарастающие участки трасс промысловых трубопроводов, линий электропередач и т.п., где рекультивация лесохозяйственного направления нецелесообразна по условиям эксплуатации этих участков и ограничивается требованиями нормативных документов. Вследствие незначительного нарушения почвенно-растительного покрова, неглубокого залегания грунтовых вод и сохранности корневищ, семян, спор растений зарастание названных нарушенных участков происходит в течение 1-3-х лет. Этому способствует частичное сохранение подроста, близкое расположение обсеменителей, слабое проявление или отсутствие эрозионных процессов. Участки могут оставаться под естественное зарастание. На песчаных и супесчаных отложениях незначительной мощности вследствие близкого уровня грунтовых вод и возможности капиллярного поднятия влаги самозарастание нарушенных участков протекает активно и в течение нескольких лет формируется устойчивый растительный покров.

Особо сложные условия для восстановления древесных и кустарниковых пород наблюдаются на сухих песчаных грунтах, где запасы влаги в корнеобитаемом слое в вегетационный период становятся ниже доступного для растений уровня и пески подвержены эрозионным процессам. Заселение растениями участков, сложенных песками, может наблюдаться через длительное время после наступления влажных лет. На таких не зарастающих и трудно зарастающих участках целесообразно проведение активных рекультивационных работ с использованием семян сосны с закрытой корневой системой. При значительных нарушениях участков, расположенных на пересеченной местности и возможности появления оврагов на склонах, нужно проведение рекультивационных работ. В качестве посадочного материала для рекультивации нарушенных земель наряду с сеянцами сосны применяется посадка черенков ив местных видов, заготавливаемых поблизости от нарушенных участков. Ивы обладают большой экологической приспособляемостью. При рекультивации откосов буровых площадок, отсыпанных песками, они являются основной породой, способной предотвратить или снизить проявление эрозионных процессов.

Санитарно-гигиеническое (природоохранное) направление рекультивации, целью которого является ликвидация нарушенных территорий и снижение их отрицательного влияния на окружающую среду, заключается в создании на нарушенных землях фитоценозов противозэрозионного, санитарно-гигиенического и озеленительного назначения.

Значительная часть нарушаемых земель в этом регионе располагается в болотном ландшафте, на землях с избыточным увлажнением и их рекультивация осуществляется в водохозяйственном направлении, которое предусматривается Водным кодексом РФ. После окончания использования болота или его части рекультивация проводится преимущественно путем обводнения и искусственного заболачивания.

На основе длительно проводимых исследований и опытных работ в этом регионе, осуществления обследований различных категорий нарушенных земель, основным направлением рекультивации следует считать лесохозяйственное. Нарушенные земли с благоприятным прогнозом восстановления растительности допустимо оставлять под самозарастание. Рекультивацию карьеров, сформировавшихся при добыче торфа, целесообразно осуществлять в водохозяйственном направлении.

УДК 631.42

ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ И АККУМУЛЯЦИИ МАКРО- И НАНОФОРМ СВИНЦА В ТКАНЯХ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО И РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО МЕТОДОВ

Киричков М.В., Невидомская Д.Г., Минкина Т.М., Черникова Н.П., Шуваева В.А., Цицуашвили В.С.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, info@sfnu.ru

Загрязнение почв тяжёлыми металлами – одно из главных последствий индустриальной деятельности человека. В биосферу тяжёлые металлы поступают преимущественно из карьеров, шахт, предприятий чёрной металлургии, угольных электростанций, металлообрабатывающих предприятий, авто-трафика, минеральных и органических удобрений, сточных вод. Свинец представляет достаточно значительную опасность, чему способствует его способность накапливаться в различных компонентах экосистем за счет образования прочно связанных соединений свинца с компонентами твердофазных матриц полидисперсных систем.

Рентгеновская дифракция (XRD) с использованием синхротронного излучения используется при анализе почвенных компонент, выступающих фазами-носителями для металлов. Подобные методы также отлично себя зарекомендовали при анализе подвергнутых загрязнению биологических объектов, таких как части растений. Спектроскопия рентгеновского поглощения (XAFS) с использованием синхротронного излучения используется для исследования уровня накопления тяжелых металлов в загрязненных почвах и их трансформаций.

Настоящее исследование посвящено изучению трансформации потенциально токсичной концентрации нано- и макроформ PbO в почве (Haplic Chernozem) и растениях ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.) на основе модельного эксперимента с искусственным загрязнением.

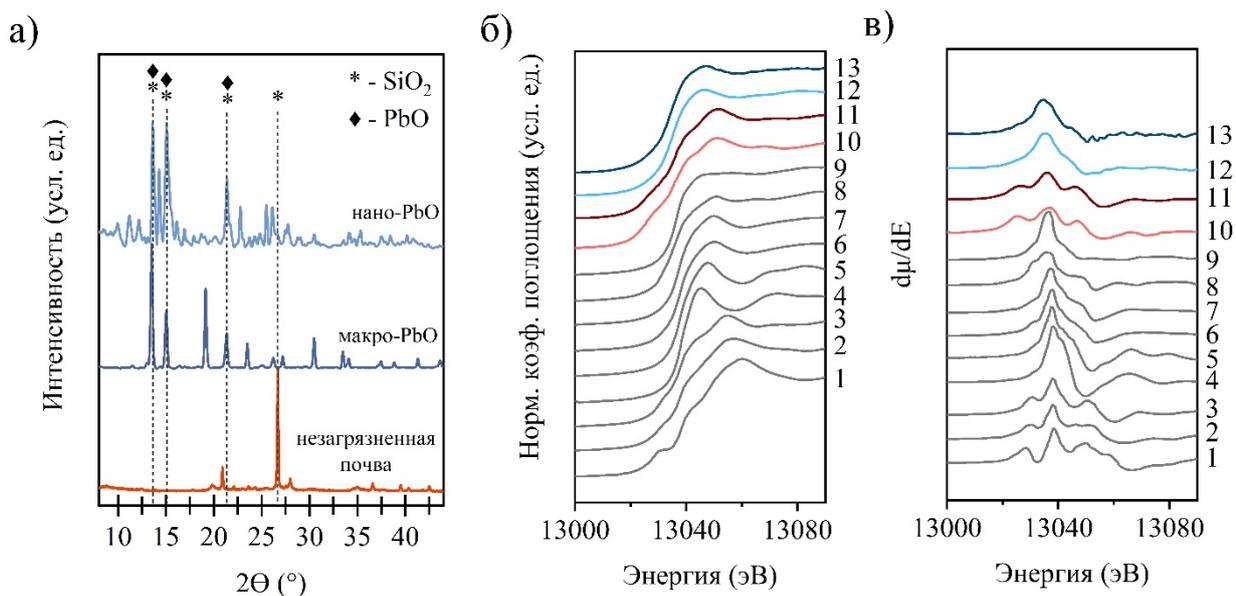


Рисунок 1. Дифрактограммы озоленных корней ячменя ярового, загрязненных нано- (12) и макроформами (13) Pb и незагрязненной почвы (а), а также спектры рентгеновского поглощения (б) и их первые производные (в) в сравнении с эталонами: PbO₂ (1), Pb₃O₄ (2), PbO (3), Pb(NO₃)₂ (4), PbCO₃ (5), Pb(CH₃COO)₂ (6), Pb(CH₃COO)₂·3H₂O (7), PbS (8), PbCl₂ (9), нано-PbO (10), макро-PbO (11)

Дифрактограмма образца незагрязненной почвы (Рис. 1, а) включала в себя вклады от трех доминирующих минеральных фаз: кварц, пироксен, монтмориллонит. Значительно меньшие вклады имели минеральные фазы оливин и титаномagnetит. Сравнение дифрактограмм озоленных образцов растений, загрязненных макро и наноформами PbO (Рис. 1, а), выявило, что дифракционные пики для наноформ заметно уширены по сравнению с макроформами, что говорит о существенно меньших размерах кристаллитов. Установлено, что в дифракционном паттерне образца корней ячменя при внесении наноформ PbO присутствуют вклады от трех основных фаз: значительно преобладает плюмбоферрит, глет и галенит. Примечательно, что дифракционный паттерн имеет вклады от фазы PbO, соответствующей синтезированному для проведения эксперимента наночастицам. Также, наличие данной фазы и ее значительная доля подтверждается данными XAFS. В дифракционном паттерне образца образца корней ячменя, выращенного при загрязнении макроформами PbO, присутствуют вклады от четырех основных фаз: сульвит, халит, глет и пироморфит. Факт наличия в дифракционном паттерне образца минеральной фазы PbO и ее малая доля хорошо коррелирует с данными XAFS.

Нормированные спектры рентгеновского поглощения различных соединений свинца в сравнении со спектрами озоленных корней ячменя ярового, загрязненных нано- и макроформами свинца в озоленном виде показаны на рис. 2 (б, в). Анализ формы спектров рентгеновского поглощения и их первых производных $d\mu/dE$ показывает, что во всех образцах ионы свинца находятся в двухвалентном состоянии, но форма спектров различных соединений существенно различается. Образцы макро-PbO и нано-PbO представляют собой практически чистую фазу PbO, а в растительных образцах содержание свинца находится на уровне 12-13%.

В образце нано-PbO наблюдался неполный фазовый переход из тетрагональной фазы PbO в орторомбическую. Это доказывает факт высокой трансформации и проникающей способности наноформ PbO в ткани растений ячменя с последующей их аккумуляцией и образованием новых минеральных фаз. Диагностированы высокие значения дисперсии локальных расстояний атомов ближайших координационных сфер вокруг поглощающего атома Pb, характеризующихся короткими расстояниями Pb—O, близкими к значениям 2.14 Å, сходных с таковыми у аквакомплексов Pb²⁺(H₂O)_n.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 21-77-20089) Южного федерального университета.

УДК 631.43

РЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОЧВ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ

Клюева В.В.

ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Москва, vvklyueva@gmail.com

Механическое поведение почв проявляется в совокупности различных физических показателей, описывающих её поведение под действием комплекса внешних механических нагрузок. Среди прочих механических параметров почв выделяются реологические показатели, т.е. показатели, описывающие деформационные процессы и их изменение во времени. Современные реометры, как возможная приборная база для изучения реологических показателей, начинают получать широкое применение при изучении почв. Помимо широкого ряда описательных исследовательских работ, реометрический подход

может быть полезен в комплексных исследованиях структуры и свойств почв, решении практических задач различной сложности. В данном поисковом исследовании авторами было изучено и сравнено реологическое поведение почв с количественным измерением большого ряда показателей для различных текстурных классов, принадлежность к которым определялась качественно.

В рамках открытого проекта SoilText (<https://soiltext.co/>) по созданию классификации текстуры почв для метода лазерной дифракции был сформирован набор почвенных образцов, принадлежащих к различным генетическим горизонтам почв разного генезиса, для которых ранее был определен текстурный класс по полевой методике Качинского. В каждом из выделенных классов: супесь (Суп), легкий суглинок (ЛСуг), средний суглинок (СрСуг), тяжелый суглинок (ТСуг), глина (Гл) – были выбраны по три почвенных образца, принадлежащих данной группе. Например, были выбраны подзолистая почва (гор.ВТ1) (Суп), дерново-подзолистая почва (гор.АУ) и солодь (гор.АУh) (ЛСуг), серая почва (гор. Р, АЕL) (СрСуг), серая (гор.ВТ) и каштановая почвы (гор.ВМК) (ТСуг), подзолистая почва (гор. ВТ2) и солонец (гор.АSN) (Гл) и проч. разных регионов Европейской части Российской Федерации. Почвенные образцы просеивались через 1-мм сито, при необходимости перетирались пестиком с резиновым наконечником. После чего, воздушно-сухая навеска почвы помещалась в пластиковый контейнер, куда порционно добавлялась дистиллированная вода до достижения массовой влажности образца $W=35$ или 40% с одновременным тщательным ручным перемешиванием при помощи шпателя до состояния гомогенной пасты. Контейнер с увлажненной почвой упаковывался пленкой Parafilm во избежание испарения и оставлялся на 24 ч для установления равновесия в системе почвенные частицы – водные пленки.

Реологические параметры почвенных образцов были изучены с помощью осцилляционного колебательного теста с применением параллельных измерительных плато на реометре HAAKE MARS 40 (Thermo Scientific, Germany) в Почвенном институте имени В.В. Докучаева. Исследования проводились в диапазоне сдвиговых деформаций от 0.0001 до 120% в измерительном зазоре (толщина образца) 4 мм, при температуре нижнего плато 20⁰С, частоте колебаний верхнего плато 0.5 Гц, продолжительность измерений составляла до 30 мин. Измерения проведены в 4-х кратной аналитической повторности.

В эксперименте определены показатели вязкоупругого поведения (модули накопления и потерь G' и G'' , диапазон линейной вязкоупругости, точка пересечения модулей G' и G'' и проч., как количественные элементы упругого и вязкого поведения) и сдвиговой устойчивости (параметры кривой напряжения сдвига τ , τ_{max} как максимальная прочность микроструктуры почвы).

В рамках первого этапа работы проведен ряд экспериментов по изучению сдвиговой устойчивости τ при различной степени увлажнения почв супесчаного, легкосуглинистого и глинистого гранулометрического состава (Рис.1). Результаты исследования позволяют сделать вывод, что в изучаемых почвах представлены разные типы сдвигового поведения. В горизонте ВТ1 подзолистой почвы при разном увлажнении в диапазоне до 120 % деформации наблюдалось хрупкое разрушение (brittle rupture) с отчетливым пиком τ_{max} на кривой напряжения сдвига с последующим восстановлением микроструктурной устойчивости при $W=35\%$ мас. (зеленая кривая, Рис.1А), и пластическое течение (plastic yielding) с плавным увеличением напряжения сдвига при увеличении нагрузки при $W=40\%$ (оранжевая кривая, Рис.1А). В первом случае τ_{max} может характеризовать максимальную прочность микроструктуры почвы. На примере горизонтов подзолистых и серой почв, относящихся к разным текстурным классам, не граничащим между собой (супесь, средний суглинок и глина), было показано трехкратное снижение сдвиговой устойчивости почв при увеличении влажности (Рис.1Б) почвенного образца на пять процентов во всех случаях. При переходе от более легкого к более тяжелому гранулометрическому составу происходит

увеличение максимальной устойчивости в обоих рядах, более четко выраженное при меньшей влажности.

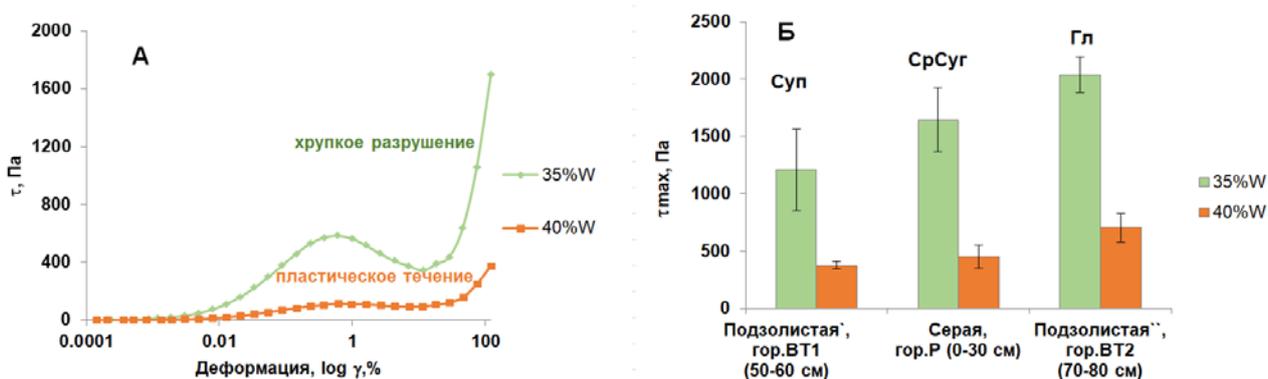


Рисунок 1. А) сдвиговое поведение почв на примере гор. ВТ1 подзолистой почвы при влажности 35 и 40%, мас.: зеленая кривая показывает хрупкое разрушение с отчетливым пиком и последующим полным восстановлением структурной прочности, оранжевая кривая – пластическое течение с плавным увеличением напряжения сдвига τ ; Б) максимальная микроструктурная прочность τ_{max} почвенных образцов, относящихся к различным текстурным классам (супесь, средний суглинок и глина). Примечание: образцы подзолистых почв супесчаного и глинистого класса отбирались из разных разрезов.

УДК 631.46

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВ В ТИПИЧНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Кокорева А.А., Подлягин С.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail Kokoreva.a@gmail.com

На данный момент практика сельского хозяйства не может обойтись без средств защиты растений. В целях государственной регистрации пестицидов и агрохимикатов существует необходимость в оценке опасности и риска применения пестицидов. Для этого разработана пошаговая система оценки, которая предполагает использование аппарата имитационного моделирования для оценки миграции пестицидов в почве и сопредельных средах. В Европейском союзе организована группа FOCUS, которая разрабатывает сценарии входных данных для моделей миграции пестицидов. Такие сценарии называются стандартными (в литературе – base-case/worst-case scenarios) – это наиболее вероятный вариант комбинирования свойств почв, климатических характеристик, топографических особенностей территории, свойственных для конкретной местности, созданный на основе реальных исследований и утвержденный научным сообществом, а впоследствии рекомендуемый к использованию во всех математических моделях для возможности сравнения результатов расчета. В нашей стране для научных и регистрационных целей используются модели PEARL и MACRO в сочетании с российскими стандартными сценариями входных данных (почва-климат-культура), которые разработаны для 9-ти основных сельскохозяйственных регионов России. Для территории Республики Беларусь не разработана схема оценки остаточных количеств пестицидов с использованием инструмента математического моделирования, однако необходимость в такой оценке несомненна. Были выбраны четыре объекта в Минском районе республики, представляющих наиболее распространенные почвы: агро-дерновоподзолистая типичная глубоко пахотная среднесуглинистая на покровных суглинках, торфянозем, торфяно-окисленный-глеевый глубоко пахотный на озерных отложениях (осушенный), агро-дерноводзолистая литобарьерная ненасыщенная глубоко пахотная, супесчаная на флювиогляциальных

отложениях подстилаемой мореной и агро-дерновоподзолистая иллювиально-железистая глубоко пахотная, песчаная на флювиогляциальных отложениях.

Ранее был рассчитан водный режим для данных почв на основе экспериментальных данных по распределению влажности в профиле за вегетационный сезон. Следующий этап работы по формированию стандартных сценариев миграции пестицидов в типичных почвах республики заключался в отборе монолитов данных почв для макротомографического исследования.

Томография почвенных монолитов проводилась с помощью медицинского томографа Siemens SMATOM Perspective с разрешением съёмки 244 мкм. Макротомографическое исследование проводилось при естественной влажности (для минеральных почв 30%, а для торфянно-глеевой 185%). Затем образцы капиллярно насыщались, съёмка проводилась повторно, что позволило понять трансформацию общего макропорового пространства (>1 мм) с учетом увлажнения.

С учетом гранулометрического состава почв не предполагалось заметного набухания и трансформации порового пространства для минеральных почв. Органический слой торфянозема за счет набухания при контроле верхней и нижней границы монолита показал наибольшее изменение порового пространства, что характерно для данных почв, но не отражается в процессе моделирования.

Капиллярно насыщенные монолиты были использованы в транслокационном эксперименте. На поверхность каждого монолита вносились пестициды «Эвклид, ск», «Табу нео, ск» и «Евро-Ленд, врк» в количестве, соответствующем рекомендуемой норме внесения.

Одновременно с действующими веществами пестицидов внесена соль КВг в количестве, соответствующем 100 кг/га. Ежедневно на поверхность монолитов распылялась вода из расчета среднегодового количества осадков за вегетационный сезон (методика адаптирована из методических указаний по исследованию миграционного показателя вредности пестицидов). Внесение соли, которая не обладает свойствами разложения и сорбции (ион брома), обусловлено необходимостью верификации имитационной модели на данных эксперимента без учета дополнительных факторов.

Наиболее неравномерный сток наблюдался в слабосуглинистой почве. Это связывалось с трансформацией порового пространства в процессе увлажнения (ежедневное внесение 10 мм воды). Этот процесс в торфяноземе был еще больше выражен и повлиял на общий сток. Вынос брома соответствовал собранному элюату. При этом, в слабосуглинистой почве, где присутствуют преимущественные пути фильтрации воды (трещины и ходы корней), вынос наблюдался в первые дни, затем стабилизировался. Почвы с более объемным поровым пространством, но менее разнообразными размерами пор, показали более равномерный вынос иона брома.

Вынос иона калия предполагался постепенным, однако, в трещиноватой среднесуглинистой почве он был максимальным. Данные по выносу ионов будут использованы для верификации имитационной модели PEARL.

УДК 631.41

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В КАРБОНАТНЫХ ПОЧВЕННО-МЕРЗЛОТНЫХ ГЕОСИСТЕМАХ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

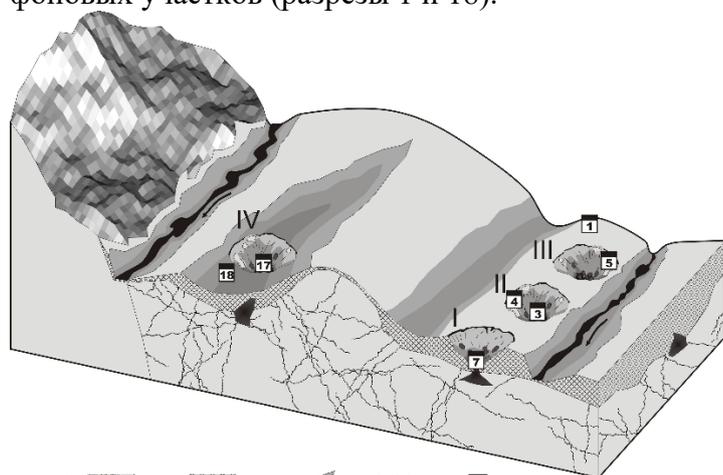
Королёв М.А.^{1,2}

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: korolev.m@ib.komisc.ru;

²СГУ имени Питирима Сорокина

Цель данной работы – исследовать закономерности аккумуляции Полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах карстовых воронок Полярного Урала, различающихся по характеру растительного покрова (зеленомошно-лишайниковое и разнотравно-злаковым сообщества) в сравнении с условно фоновыми участками.

Район исследований находится в южной части циркумполярной зоны и охватывает предгорную ландшафтную зону Полярного Урала. Специфической особенностью данного региона Уральских гор является преобладание горных тундр, начиная с 200-250 м над ур. м. и пояса гольцов (500-600 м над ур.м.). Разреженные редколесья из *Larix sibirica* и *Picea obovata* распространены в основном по долинам рек, занимая незначительные площади. Объектами исследований послужили почвы четырех карстовых воронок (рис.), расположенных на правом берегу ручья Развильный (координаты: 67° 13' 17.6" N; 65° 38' 26.2" E; абсолютная высота местности 230-245 м над ур.м.). Дополнительно изучили почвы фоновых участков (разрезы 1 и 18).



1. 2. 3. 4. I-IV 5.

Рисунок - Месторасположение почв в карстовых воронках (I-IV) и за их пределами: 1 – толща известняков; 2 – четвертичные отложения; 3 – ложбины стока; 4 – № карстовой воронки; 5 – № разреза.

Карстовые воронки имеют конусообразную форму с диаметром в верхней части 5.5-6 м. Воронки различаются по характеру растительного покрова. Нами выбраны два типа воронок: воронки с зеленомошно-лишайниковым напочвенным покровом (разрезы № 3к, 5к, 7к) и разнотравно-злаковым сообществом (разрезы 17к). Локализация почв в воронке принципиально влияет на условия их формирования, в первую очередь, на условия дренажа. В этой связи нами были выбраны почвы в разных позициях воронок – срединной части воронки (разрезы 4к и 5к) и на дне (разрезы 3к, 7к, 17к). Спецификой отдельных разрезов является наличие погребенных горизонтов в виде линз (с послепожарными древесными углями), с возрастом около 5000 лет.

В исследуемых почвах нами было обнаружено 13 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен, бенз[б]флуорантен, бенз[к]флуорантен, бенз[а]пирен, дибенз[а, h]антрацен, бенз[ghi]перилен. ПАУ представлены главным образом легкими углеводородами их доля в общей сумме ПАУ варьирует в пределах 84-100 %.

Для большинства исследуемых разрезов изменение содержания индивидуальных ПАУ с глубиной коррелировали с изменением общего содержания ПАУ ($r=0.60-1.0$, $n=13$), следовательно, имели место сходные закономерности аккумуляции. Отличия в аккумуляции полиаренов выявлены для разреза 4к. Пики накопления флуорена, пирена и бенз[а]антрацена смещены в нижележащие горизонты, максимум аккумуляции хризена соответствует очесу, тогда как накопление большинства ПАУ характерно для горизонта Оао.

Исследуемые нами фоновые участки, характеризуются разными растительными сообществами. Сравнение накопления ПАУ в органических горизонтах почв под моховыми и мохово-дриадовыми сообществами в разных частях рельефа показало закономерное возрастание массовой доли ПАУ с понижением рельефа. Минимальные содержания ПАУ выявлены на фоновых участках, максимальное в карстовых воронках. Для участков под травянистой растительностью такой взаимосвязи не наблюдалось, содержание ПАУ в верхних горизонтах

почв на фоновом участке и в карстовой воронке сопоставимо. Однако первостепенное значение в накоплении ПАУ почвами имеет не столько специфика состава ПАУ наземной биомассы, сколько скорость ее разложения и продукты, которые образуются в процессе деструкции.

Для разрезов 7к и 17к было отмечено пиковое накопление ПАУ для погребенных горизонтов, представленных слоями 3-10 см с наличием послепожарных древесных углей. На глубине 15-18 см (разрез 17к) характерно повышенное содержание всех индивидуальных ПАУ, тогда как для погребенного горизонта лишь увеличение количества нафталина и хризена в 2-3 раза по сравнению с выше- и нижележащей толщей.

Расчетные диагностические критерии (соотношения масс индивидуальных ПАУ фенантрен/антрацен, флуорантен/пирен, сумма 2-4 ядерных ПАУ к сумме 5,6 -ядерных) для большинства горизонтов исследованных почв указывают на петрогенное происхождение ПАУ, за исключением горизонтов, где тяжелые ПАУ обнаружены не были. Вместе с тем нельзя исключать дальнего переноса с воздушными массами на исследуемые участки таких легких ПАУ, как нафталин.

Важную роль в аккумуляции ПАУ играют карстовые процессы. По сравнению с фоновыми участками в воронках отмечено накопление значительных количеств полиаренов относительно фоновых участков. Установлены зависимости в накоплении ПАУ от состава растительных сообществ и проективного покрытия исследованных участков. На участках с более плотным проективным покрытием, проникновение ПАУ в органогенные горизонты почвы затруднено. Повышение содержания ПАУ в почвах под травянистой растительностью объясняется высокой скоростью разложения трав по сравнению с мхами и кустарничками и значительным содержанием в них лигнина, основного источника ПАУ в почве.

Еще одним фактором формирования состава ПАУ почв, было наличие палеоуглей, что также оказывает влияние на состав ПАУ угольсодержащих и подстилающих их почвенных горизонтов.

Исследования выполнены в рамках гранта РФФИ № 24-27-00231 «Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация».

УДК 631.433.3

ЭМИССИЯ CO₂ СВЕТЛО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ УРБОЛАНДШАФТА

Кошелев А.В.¹, Шатровская М.О.¹

¹ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, alexkosh@mail.ru

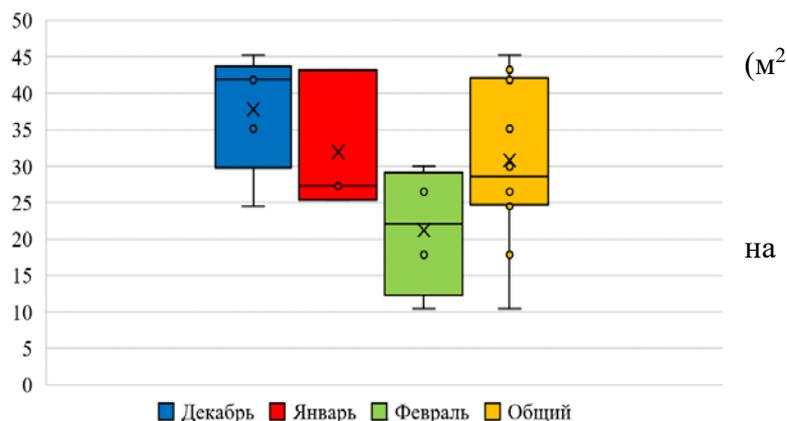
Ведущую роль в изменении климата играет цикл углерода, который определяется балансом между поглощением CO₂ растительностью и выделением углекислого газа при дыхании почв. Изучение эмиссии CO₂ из почвы в разных типах экосистем на всей территории России является важной государственной задачей. В рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» поставлена цель разработать единую национальную систему мониторинга климатически активных веществ. В связи с этим проведение исследований по эмиссии CO₂ из почвы, особенно в зимний период в зональном масштабе страны, является актуальным вопросом. Измерения эмиссии CO₂ из почвы в зимний период производили на площадке, расположенной на территории ФНЦ агроэкологии РАН. Площадка представляет собой участок на светло-каштановой почве с древесно-кустарниковой растительностью (хвойные и лиственные). Возраст древесной растительности составляет 10-20 лет. На площадке установлены 5 непрозрачных камер, в подкроновом, межкроновом и открытом

пространствах. Измерения начаты с конца ноября 2023 г. и проводятся на основе инфракрасного газоанализатора VentPro в модификации ИФХиБПП РАН, г. Пущино. В процессе измерений одновременно фиксировались метеопараметры: температура воздуха, температура и влажность почвы, высота снежного покрова возле камер, условия проведения измерений. Измерения проводились 1 раз в неделю (4-5 раз в месяц).

Температура воздуха в декабре 2023 г. в дни измерений варьировала от $-5,2^{\circ}\text{C}$ до $+4,3^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха за декабрь составила $+0,2^{\circ}\text{C}$. Максимальная высота устойчивого снежного покрова была зафиксирована 15 декабря – 1,5 см. С увеличением температуры воздуха снег растаял. Температура почвы варьировала от $+0,2^{\circ}\text{C}$ до $+4,2^{\circ}\text{C}$, средняя температура почвы составила $+1,9^{\circ}\text{C}$. Влажность почвы в дни измерений в среднем варьировала от 4,7% до 29,7%, среднее значение влажности составило 21,5%. Поток CO_2 из почвы при этом варьировал от 24 до 45 $\text{мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$, среднее значение потока за декабрь составило 38 $\text{мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$

(рисунок). Причем максимальный поток (59 мг С час^{-1} в среднем) всегда фиксировался в камере под кроной хвойных деревьев. Корреляционный анализ показал, что значимое влияние поток оказывала температура воздуха ($R=0,91$) и влажность почвы ($R=1,0$), влияние температуры почвы на поток оказалось незначимым ($R=0,08$).

Рисунок. Поток CO_2 из светло-каштановой почвы в зимний период



Температура воздуха в январе 2024 г. в дни измерений варьировала от $-7,4^{\circ}\text{C}$ до $+1,9^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха за январь составила $-2,0^{\circ}\text{C}$. Максимальная высота устойчивого снежного покрова была зафиксирована 12 января – 20,0 см. С увеличением температуры воздуха снег постепенно таял. Температура почвы варьировала от $+0,2^{\circ}\text{C}$ до $+0,3^{\circ}\text{C}$, средняя температура почвы составила $+0,2^{\circ}\text{C}$. Влажность почвы в дни измерений в среднем варьировала от 15,0% до 18,2%, среднее значение влажности составило 16,9%. Поток CO_2 из почвы при этом варьировал от 25 до 43 $\text{мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$, среднее значение потока за январь составило 32 $\text{мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$. Причем максимальный поток ($49 \text{ мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$ в среднем) всегда фиксировался в камере под кроной хвойных деревьев. Корреляционный анализ показал, что значимое влияние на поток оказывает температура воздуха ($R=-0,99$) и влажность почвы ($R=0,57$), влияние температуры почвы на поток оказалось незначимым ($R=0,19$).

Температура воздуха в феврале 2024 г. в дни измерений варьировала от $-6,9^{\circ}\text{C}$ до $+0,1^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха за январь составила $-1,8^{\circ}\text{C}$. Максимальная высота устойчивого снежного покрова была зафиксирована 22 февраля – 14,0 см. С увеличением температуры воздуха снег также постепенно таял. Температура почвы варьировала от $+0,1^{\circ}\text{C}$ до $+0,4^{\circ}\text{C}$, средняя температура почвы составила $+0,2^{\circ}\text{C}$. Влажность почвы в дни измерений в среднем варьировала от 12,9% до 22,7%, среднее значение влажности составило 16,7%. Поток CO_2 из почвы при этом варьировал от 10 до 30 $\text{мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$, среднее значение потока за февраль составило 21 $\text{мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$. Причем максимальный поток ($30 \text{ мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$ в среднем) всегда фиксировался в камере под кроной хвойных деревьев. Корреляционный анализ

показал, что на поток оказывали среднее влияние все 3 параметра: температура воздуха ($R=0,49$), влажность почвы ($R=0,60$) и температура почвы ($R=0,47$).

В среднем за зимний период температура воздуха составила $-1,0^{\circ}\text{C}$, температура почвы $+0,9^{\circ}\text{C}$, влажность почвы $-18,7\%$, при этом поток CO_2 из почвы составил $31 \text{ мг С (м}^2 \text{ час)}^{-1}$. Корреляционный анализ данных за весь зимний период показал, что значимое влияние на поток оказывает влажность почвы ($R=0,70$) и температура почвы ($R=0,44$), а влияние на поток температуры воздуха оказалось менее значимым ($R=0,13$). При измерении концентрации CO_2 из почвы была замечена особенность, что при температуре почвы ниже температуры окружающего воздуха идет слабое нарастание концентрации CO_2 - 1 ppm в минуту.

Таким образом, предварительные результаты измерений эмиссии CO_2 из почвы в зимний период позволили получить уникальные данные для дальнейшего анализа факторов влияния на эмиссию CO_2 из почвы в сухостепной зоне каштановых почв, а в перспективе позволят выявить вклад зимнего сезона в годовой поток углекислого газа из почвы в сухостепной зоне каштановых почв.

УДК 631.4

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПОЧВЕННО-ЛАНДШАФТНАЯ ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА
Кренке А. Н.¹ Пузаченко М. Ю.¹ Нестеренко В. А.² Коробкин А.А.²

¹Институт Географии РАН, Москва, krenke-igras@yandex.ru;

²ООО «Экомониторинг Агро», Москва, natalia.balova@eco-monitoring.org;

Целью данной работы являлась разработка методики расчета среднемасштабных карт агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и цифровых моделей рельефа, позволяющих проводить весь комплекс агроэкологического и агрохимического картографирования необходимый для применения концепции адаптивно-ландшафтного земледелия. Агроэкологическая оценка земель - это метод комплексной оценки сельскохозяйственных земель, позволяющий проектировать систему применяемых агротехнологий в соответствии с местными условиями и, таким образом, выстраивать систему управления агропроизводством с наибольшей экономической эффективностью. Традиционным методом проведения агроэкологической оценки с/х земель являются полевые исследования, которые подразумевают значительный объем полевых работ, что делает применение ландшафтно-адаптивного земледелия на больших площадях (сотни тысяч гектар) очень трудоемким. Предлагаемая методика позволяет подготовить информационную основу ландшафтно-адаптивного земледелия (агроэкологические и агрохимические карты) за счет построения моделей данных свойств на основе синтеза полевых и дистанционных данных. Структура отраженной солнечной радиации и морфологические характеристики рельефа (а также климатические переменные для больших масштабов) отражают состояние растительного покрова и, следовательно, условия его произрастания. Таким образом для агроландшафтов существует возможность дифференцировать условия произрастания сельскохозяйственных культур, т.е. выделить агроэкологические разности. Основным затруднением в выделении стационарных структур агроландшафтов, обладающих устойчивой во времени совокупностью свойств с помощью данных дистанционного зондирования является высокая изменчивость их отражательной способности. Высокая изменчивость агроландшафтов продиктована взаимосвязанными факторами погодных условий (в момент съемки и в течении года), набором выращиваемых культур, применяемыми агротехнологиями и т.п. Значения каналов спутниковой съемки (и производные индексы), измеренные в каждый конкретный момент времени, отличаются друг от друга в каждой точке пространства, и

коэффициенты парных корреляций сцен за разные сроки наблюдения всегда меньше единицы. А в случае применения к экосистемам подвергшимся сильному антропогенному воздействию (к каковым, несомненно, относятся агроландшафты) - демонстрируют особо большую изменчивость. Можно сказать, что временные серии (ряды) данных дистанционного зондирования можно рассматривать как отображение динамической системы ландшафта. Множество зафиксированных состояний отражают преобразование свойств ландшафта как в пространстве, так и во времени. С другой стороны, при вовлечении в анализ достаточно большого набора наблюдений и на интервале времени, превышающем цикл севооборотов на данной территории, представляется возможным идентифицировать составляющие, описывающие устойчивую пространственную структуру каждой переменной. Задача выделения стационарных компонент в наборах исходных данных мультиспектральной космической съемки решается поэтапным применением процедур сокращения размерности. Таким образом, формируется набор переменных, описывающий стационарные характеристики земель за конкретный период (как правило 4-6-летний диапазон при 2-3 летнем типовом периоде севооборота). Этот набор переменных уже может быть рассмотрен как инвариантный для данной территории. Для того чтобы перейти от пространства инвариантных свойств исходных данных к дискретным реальным ландшафтными категориям и агрохимическим свойствам применяется интерполяция полевых данных в пространстве описанных выше стационарных компонент. Могут быть получены как агроэкологические группы, карты структур почвенного покрова и гранулометрического состава, так и агрохимические категории (содержание основных элементов питания, гумусированность почвы). При этом качество моделей значительно улучшается при введении гетерогенного факторного пространства, где отдельные стационарные компоненты извлекаются в границах агроэкологических групп. При таком подходе качество агрохимических моделей достигает 85-90%. Также данное обстоятельство показывает реальность разделения ведущих факторов почвообразования в разных агроэкологических условиях и возможность наблюдения пространственной динамики этих факторов через мультиспектральные средства дистанционного зондирования. В результате применения методики, на основе климатических, агрохимических и агроэкологических свойств, полученных в результате моделирования, были рассчитаны потенциальные урожайности и необходимые задания по дифференциальному внесению удобрений для реально засеваемых культур в рамках проекта с компанией «Русагро» на более чем 100 тысячах гектар. Полученные реальные урожайности на 85% совпали с расчетными.

УДК 631.431.1

ДИНАМИКА ПЛОТНОСТИ ПОЧВ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ УПЛОТНЕНИИ И ПОДХОДЫ К ЕЁ ИЗУЧЕНИЮ

Крицкий К. А., Власенко В. П.

Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, Краснодар, e-mail: k.kritsky@yandex.ru

Плотность почвы является весьма динамичным показателем, во многом зависящем от её влажности. Кроме этого, на величину плотности может влиять объёмная усадка почвы, т.е. чем больше усадка, тем выше может быть плотность. Эти обстоятельства, не предусмотренные стандартной методикой определения плотности почвы методом «режущего кольца», а также воздействие антропогенного фактора необходимо учитывать для повышения достоверности результатов исследований.

Цель работы: определить динамику плотности образцов почвы без антропогенного и с антропогенным уплотнением с учетом усадки образцов

Объект исследования: черноземы выщелоченные слабогумусные сверхмощные легкоголистые на лессовидных глинах без антропогенного уплотнения и с антропогенным уплотнением.

Предмет исследования: динамика плотности образцов почвы при высыхании, с учетом усадки

Задачи исследования:

- выполнить отбор почвенных образцов для определения плотности почв;
- провести наблюдения за динамикой геометрических показателей образцов почвы (высота, диаметр, масса);
- рассчитать объёмную усадку, составить графики, результаты разместить в таблице, сделать выводы.

Методы исследования: отбор проб почвы на плотность методом режущего кольца объёмом 50 см³, измерение геометрических показателей штангенциркулем, взвешивание образцов.

Допущением, принятым в исследовании, является предположение о сохранении неизменности цилиндрической формы в процессе исследования. Высота и диаметр вычислялись как среднее из трех определений с разных сторон цилиндра. Влажность устанавливалась по разнице массы образцов, объёмная усадка определялась по формуле ГОСТ 12248.6-2020: «Грунты. Метод определения набухания и усадки». Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Динамика плотности почв при изменении их влажности (с учетом усадки)

Наименование почв	№ образца	Начало опыта, 11.03.2021		Конец опыта, 02.04.2021		Плотность, с учетом усадки, г/см ³
		W, %	dv, г/см ³	W, %	dv, г/см ³	
Черноземы выщелоченные слабогумусные сверхмощные легкоглинистые на лессовидных глинах	1	18,91	1,54	9,87	1,94	1,65
	2	20,60	1,51	14,69	1,89	1,63
	3	19,88	1,53	13,50	1,89	1,59
	среднее	19,80	1,66	12,69	1,91	1,63
Черноземы выщелоченные антропогенно-уплотненные слабогумусные сверхмощные легкоглинистые на лессовидных глинах	4	20,66	1,66	13,74	1,93	1,93
	5	21,50	1,66	13,31	1,91	1,91
	6	25,92	1,58	13,40	1,93	1,95
	среднее	22,69	1,64	13,48	1,93	1,94

Влажность устанавливалась по разнице массы образцов, объёмная усадка определялась по формуле ГОСТ 12248.6-2020: «Грунты. Метод определения набухания и усадки». Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что в начале опыта плотность образцов почвы (dv) без уплотнения составляла в среднем 1,63 г/см³ при влажности (W) в среднем 19,80 %, при этом плотность образцов с уплотнением была 1,64 г/см³ при влажности 22,69 %. При высыхании образцов в естественных условиях влажность образцов без уплотнения снизилась до 12,69% при плотности 1,63 г/см³, а образцов с уплотнением 1,94 г/см³. К концу опыта в среднем объёмная усадка образцов (Vδ) без уплотнения (10,69 %) была ниже, чем образцов с уплотнением (13,48 %), что дополнительно может увеличивать фактическую плотность. Зависимость плотности почвы от её влажности является корреляционной и ее график имеет вид гиперболы, которая искривляется в случае определенных почв, но самое главное, она изменяется на почвах с явлениями уплотнения и слитизации.

В нашем исследовании также были построены графики зависимости плотности образцов от их влажности для почв с уплотнением и без него.

Кривые были дополнены линиями тренда, для которых был посчитан коэффициент детерминации (R^2). Для обоих графиков он составил 0,92. Линии тренда также имеют небольшие отклонения друг от друга и для того, чтобы показать скорость изменения плотности от влажности необходимо ввести новый критерий – критерий «Т». Данный критерий в математическом смысле является тангенсом угла наклона линии тренда к линии абсцисс.

Для наших образцов тангенс угла наклона линии тренда для почвы без уплотнения составил 0,254, а с уплотнением 0,289, разница между ними составляет около 12,1 %, что говорит о значительном различии в динамике плотности почв с уплотнением и без него.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о существенной роли антропогенного фактора в динамике плотности почв с одной стороны, с другой – о необходимости совершенствования методики ее определения.

УДК 631.42 (571.513)

ПРИНЦИП АГРОЛАНДШАФТНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ В МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Кутькина Н.В., Еремина И.Г.

НИИ аграрных проблем Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, Абакан, e-mail:

cutcina19@mail.ru

Ландшафт или природно-территориальный комплекс – это индивидуальная неповторимая территориальная единица, характеризующаяся некоторой однородностью комплекса взаимосвязанных и взаимодействующих природных компонентов (геологическое строение и рельеф, климат, воды, почвы, растительный и животный мир). Ландшафтным районированием можно создавать различные виды частного районирования. Перевод сельского хозяйства на ландшафтную основу поставил вопрос о необходимости расширения региональных агроландшафтных исследований. Агроландшафт – это природно-антропогенное образование и в условиях аридизации климата, и разном землепользовании может быть устойчивым или неустойчивым к деградации. Поэтому создание региональных агроландшафтных районирований, является наиболее актуальной задачей в настоящее время. Особенно, это важно, для проектирования современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия и внедрения адаптивных агротехнологий.

В представленной работе, на основе проработки и анализа имеющегося литературного и картографического материалов, а также многолетних исследований авторов, приведен принцип агроландшафтного районирования земель левобережной части Минусинской котловины по В.И. Кирюшину. Изложена методика проведения агроландшафтного районирования, обоснованы критерии выделения таксономических единиц: высшие (провинции), средние (округа, районы) и мелкие (группы, типы земель). Разделение земель происходило так, чтобы при переходе от более высокой к более низкой единице добиваться все большей однородности почвенного покрова.

Провинциальная биоклиматическая структура почвенного покрова агроландшафтов представлена пространственным соотношением трех зон: черноземно-лесостепной, черноземно-степной и каштановой сухостепной, которые существенно отличаются по водному, температурному, питательному режимам и продуктивности сельскохозяйственных культур. В структуре почвенного покрова сельскохозяйственных угодий преобладают черноземы, каштановые и слаборазвитые почвы, в пашне также преобладают черноземы (79,6 %) и каштановые почвы (13,6 %) и всего 6,8 % занимают все другие типы почв. Коэффициент континентальности климата варьирует от резкого до крайне континентального (193-226). Водный режим почв оказывает наибольшее влияние на основные свойства почв и в значительной мере определяет тип биоценозов. Выявлены закономерности изменчивости нормативной урожайности зерновых культур вдоль широтного градиента и вертикальной поясности, а также биопродуктивность почв по элементам мезо- и микрорельефа, экспозициям и частям склонов пахотных земель.

Выделение высшей таксономической единицы (провинция) проводили на основе особенностей почвенного покрова, обусловленных преимущественно влиянием биоклиматических условий почвообразования. За высший таксон районирования земледельческой зоны принята «Минусинская провинция», которая охватывает всю левобережную часть Минусинской котловины, характеризуется фациальными особенностями почвенного покрова, связанными с изменением континентальности климата, суровости и снежности зимы, длительным промерзанием почвы, показателей тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода.

В обособлении округов положены литолого-геоморфологические факторы, которые определяют топографию почв по А.А. Мистрюкову, формируя определенные типы мезоструктур почвенного покрова, а также гидротермические условия. Выделено три округа: I. Северо-Минусинский (Июсо-Ширинский), II. Приабаканский-Центрально-степной, III. Койбальский-Южно-Минусинский предгорно-степной. Указаны внешние признаки округов (формы рельефа, высота над уровнем моря, степень расчлененности поверхности территории). Внутри округов выделено 7 геоморфологических районов, разделенные на впадины и поднятия, склоны разной крутизны и степени расчлененности территории с преобладающими видами агроландшафтов, расположенные на мезоструктурах рельефа и приуроченные к зональным проявлениям биоклиматических параметров. 1. Приподнятая предгорная равнина Кузнецкого Алатау; 2. Бессточная Ширинская котловинная; 3. Приенисейская холмисто-сопочная равнина; 4. Низкогорно-холмистая равнина; 5. Древнеаллювиальная Абаканская долинная равнина; 6. Предгорная холмисто-увалистая равнина; 7. Древнеаллювиальная Енисейская долинная равнина.

В свою очередь каждый геоморфологический район разделен на агроландшафтные районы по однотипности местных условий форм рельефа, а также их сочетаний. Образуют такой агроландшафт, который свойственен только данному району. В результате выделено 18 относительно однородных агроландшафтных районов.

В пределах агроландшафтных районов на основе типизации структур почвенного покрова выделено 8 агроэкологических групп земель (плакорные и слабонаклонные земли, эрозионные, дефляционные, эрозионно-дефляционные, засоленные, солонцовые, переувлажненные и литогенные земли). В основе выделения агроэкологических групп земель лежат крупные контуры типов почв, с увязкой по условиям теплообеспеченности и увлажнению территории.

Плакорные земли выделены в качестве базовой категории, наиболее полно отражающей зонально-провинциальные условия, занятые преимущественно автоморфными зональными почвами. Эрозионные земли с наличием в почвенном покрове смытых почв или предрасположенных к смыву, характеризуются перераспределением влаги вследствие поверхностного стока, или в холмистой степи земли подвергаются совместному проявлению эрозии и дефляции. Например, группа земель: степные эрозионно-дефляционные земли с обыкновенными черноземами на щебнистых почвообразующих породах с вариациями карбонатных черноземов, в комплексе с малоразвитыми почвами до 10 % по вершинам склонов. Переувлажненные земли разделяются в зависимости от гидрологического режима, степени экологического переувлажнения на полугидроморфные, гидроморфные и характера их использования. Литогенные земли выделены в зависимости от генезиса почвообразующих пород и причин, определяющих неблагоприятные свойства сформированных на них почв. К этой группе, ввиду пониженной влагообеспеченности, отнесены песчаные почвы, почвы с супесчаным гранулометрическим составом в степной зоне, а также малоразвитые почвы на элювии плотных пород, имеющие ограниченное использование вследствие каменистости, маломощности мелкоземистой толщи. Солонцовые земли включают несколько групп, в почвенном покрове которых присутствует более 10 % солонцов. Разделение их на группы проведено по условиям комплексности и гидрологического режима. Далее выделен самый низкий агроландшафтный таксон – агроэкологический тип земель – это экологически

однородная территория по требованиям возделывания сельскохозяйственных культур. Практически это элементарный ареал типа почвы, в сочетании с их подтипами или в комплексе с другими типами почв в процентах от основного фона. Названия типов земель определялось из названия типов почв, преобладающих подтипов, категорий по смытости, дефлированности и др. В целях оптимального информационного обеспечения и управления районированием, природные выделы агроландшафтных районов увязаны с границами административных районов. Таким образом, в агроландшафтных районах Минусинской провинции выделено 146 агроландшафтных типов земель, отражающие почвенно-ландшафтные связи внутри агроэкологических групп земель. Такой принцип агроландшафтного районирования земель, с учетом региональных особенностей территории Минусинской котловины может позволить определить тип сельскохозяйственного производства, оптимизировать технологии возделывания культур и адаптировать ландшафтную систему земледелия.

УДК 631.43

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНОГО САДОВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ.

Мазиров М.А.¹, Мазиров И.М.²

¹РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, e-mail: mazirov@mail.ru

²ВлГУ имени А.Г. и Н.Г.Столетовых, Владимир, e-mail: imazirov@gmail.com

Горная зона продолжает оставаться основной базой для развития промышленного садоводства. В отличие от косточковых садов равнинной зоны, которые страдают от периодически повторяющихся неблагоприятных зим, в горных условиях они, как правило, оказываются малоповрежденными и дают устойчивые урожаи. Плоды отличаются высоким товарным качеством, повышенным содержанием сахара и витаминов.

Плодовые деревья по биологическим особенностям лучше других культур приспособлены к произрастанию в горных условиях. Для богарного садоводства в горной зоне очень большое значение имеет учет экологических факторов.

Исследования проведены в Бостанлыкском районе Ташкентской области Республике Узбекистан. Это пояс средневысотных гор с абсолютной высотной отметкой 900-1400 метров над уровнем моря, крутизна склонов 7-20 градусов. Почвы под садами горные коричневые слабо-среднесмытые, развитые на лессовидных рыхлых суглинках. В условиях горного рельефа почвообразование обусловлено формированием пестрого почвенного покрова.

Климат горных зон резко отличается от климата предгорных регионов. С подъемом количество тепла уменьшается на 0,4-0,6 градусов на каждые 100 метров высоты. Безморозный период продолжается 145-202 дня в году. Количество осадков на каждые 100 метров высоты возрастают на 50-60 мм.

Результаты изучения толщины снежного покрова, влажности, интенсивности роста и содержание гумуса показывают, что между ними имеется взаимосвязь, в зависимости от экспозиции склонов и высотных отметок. Так, при всех сроках наблюдения на северной экспозиции снега было больше в пределах 10-20 см, чем на южных склонах и, кроме того, на высоте 1400 м над уровнем моря не зависимо от экспозиции склонов толщина снежного покрова была больше на 5-15 см., чем на высоте 1000 м. над уровнем моря.

Многолетние наблюдения за влажностью почвы в период вегетации показал, что почва северной экспозиции влажнее южной. На высоте 900 м над уровнем моря южной экспозиции в мае месяце влажность в метровом слое была меньше, чем на северной, на 1,64% в июне 1,29%, в августе 0,75%, и в сентябре 1,03%. Такое же, положение отмечается на высоте 1000, 1200 и 1400 м. над уровнем моря.

Рост и продуктивность плодового растения в сильной степени зависит от направленности и интенсивности физиологических и биологических процессов, протекающих в листьях растений. При этом важная роль принадлежит размеру листьев и данные листового полога показывают, что у яблони на южной экспозиции они были больше, чем на северной на 20-25%, у алчи на 8-10%, у груши на 9-13%.

С каждым годом значительные площади горных территорий используются в сельском хозяйстве. Разнообразное хозяйственное воздействие часто приводит к трудно восполнимым потерям почвенного плодородия, особенно гумусовых веществ. В гумусе аккумулированы элементы питания. От количественного качественного состояния органического вещества зависят процессы структура образования, состояния водно-воздушного и теплового режимов почв и условия снабжения питательными веществами.

Исследованиями установлено, что в естественных условиях, горные коричневые почвы способны, накапливать большие (более 200 т/га в метровой толще) запасы гумуса. С вовлечением таких почв в сельскохозяйственный оборот запасы гумуса в них резко уменьшились вследствие нерационального использования их под выпас скота и системного земледелия и последующих за этим эрозионных процессов. Особенно сильно обеднены гумусом горные коричневые карбонатные, среднесмытые почвы, развитые на омергелеванных суглинках. Эти почвы распространены, главным образом, на южных склонах или водоразделах, и характеризуются укороченным гумусовым профилем, мощность которого всего 45 см. Количество гумуса в верхнем горизонте этих почв составляет 1,2%, к низу содержание его падает до 0,5%. При этом с развитием горного садоводства путем террасирования склонов, потери гумуса несколько снизились, оставаясь невысокими.

Наиболее благоприятные условия для размещения семечковых садов имеет северные склоны, а для косточковых садов – южные склоны.

На основании результатов изучения комплекса факторов, влияющих на рост плодовых пород, можно сказать, что для сохранения всей экологической системы в горных районах и дальнейшего повышения продуктивности садов. Посадки плодовых насаждений необходимо осуществлять с учетом экспозиции и крутизны склонов, режима влажности, эродированности и мощности почв.

УДК 641

СМАЧИВАЕМОСТЬ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПОЧВ ПОД РАЗНОЙ АГРОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Матвеева Н.В., Котельникова А.Д., Рогова О.Б.

ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, Nataliy_Matveeva@list.ru

Одним из факторов, характеризующим устойчивость почвенной структуры, является соотношение гидрофобных и гидрофильных компонентов органических веществ почвы, выражающееся через смачиваемость. Смачиваемость поверхности почвенных частиц определяется химизмом и пространственным распределением слоя молекул на внешней поверхности, а не природой и расположением атомов внутренней массы. Поэтому вид и интенсивность агрогенной нагрузки на почвы влияет на смачиваемость поверхности их твердой фазы. Прогнозирование и регулирование водоотталкивания почв является важной задачей современного почвоведения и сельского хозяйства. Естественная регуляция этого процесса остается актуальной фундаментальной задачей. Количественно смачиваемость оценивают путем измерения величины краевого угла смачивания (КУС), который может служить индикатором изменения молекулярного состава органического вещества и свойств почв в условиях различной агрогенной нагрузки. Высокие значения КУС соответствуют гидрофобизации поверхности и увеличению содержания неполярных, в том числе специфических ароматических высокомолекулярных органических структур, низкие –

преимущественно полярным алифатическим соединениям, таким как органические кислоты, полисахариды.

В качестве объекта исследования были выбраны почвы длительного полевого опыта полигона ВНИИМЗ, расположенного в Калининском районе Тверской области в поселке Эммаусс. Весной 2023 г отобраны образцы агродерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под 3 видами многолетних кормовых трав – «Овсяница» (с 2018 г), «Бобовая смесь» (люцерна + овсяница, с 2019 года), «Козлятник» (с 1996 года), в качестве варианта сравнения была выбрана залежь с 2013 года (вариант «Залежь»). Глубина отбора – 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 и 30-40 см, в пределах корнеобитаемого слоя большинства культур. Повторность трехкратная. Поскольку анализируемые почвы имели песчаный или супесчаный гранулометрический состав с обилием крупных минеральных кварцевых частиц, мы определяли КУС микроагрегатов размером менее 100 мкм – основных носителей органического вещества в этих почвах.

Определение КУС проводили методом статической сидячей капли на цифровом гониометре (OCA 15EC DataPhysics, Germany), оснащенный видеокамерой и программным обеспечением SCA 20. Пробоподготовка заключалась в осаждении суспензии микроагрегатов размером менее 100 мкм на мембранный фильтр. Для этого суспензию из почвы после ее диспергации ультразвуком (Branson Digital Sonifier 250, U.S.A.) с энергией 450 Дж/мл пропускали через сито с размером ячеек 0,1 мм с целью удаления крупно-минеральной фракции, создающей погрешность при измерении КУС, доля которой в почвах исследуемого полигона составляла 30-55 %.

Величина КУС наиболее высока в верхнем 5 см слое, соответствующем сформировавшейся дернине всех четырех почв. В почве залежного участка она максимальна, что мы связываем, с полным ежегодным возвратом в почву остатков наземной растительной массы и активными процессами гумификации в этом слое. Ниже значение КУС во всех вариантах уменьшается в результате, во-первых, уменьшения содержания органического вещества в целом, во-вторых, из-за изменения вещественного состава вертикально мигрирующего с водными токами вещества - оно должно растворяться в воде и, соответственно, быть более гидрофильным. И, конечно же, огромное значение имеет резкое увеличение содержания крупных силикатных минеральных частиц практически сразу под сохранившейся плужной подошвой на глубине между 20-30 см. При общей тенденции увеличения смачиваемости (снижении величины КУС) вниз по профилю, можно выявить существенные различия. Наибольшие значения величины КУС - 76° - наблюдаются в верхнем слое участка «Залежь», растительность которого представлена многолетними травами. Отсутствие вспашки позволяет сформироваться дернине, мощностью до 6 см. Величина КУС резко изменяется сразу под дерниной – до 66° в слое 5-10 см, что свидетельствует о влиянии корневых экссудатов на гидрофобно-гидрофильные свойства поверхности формирующихся агрегатов. Слой 10-20 см участка «Залежь» имел КУС 45° (среднее по 3 полевым повторностям). Нижняя граница гумусового горизонта находилась на уровне 26-35 см, для нее характерны наибольшие изменения в величине КУС – от $35,1^\circ$ к $20,3^\circ$, что обусловлено как снижением содержания органического вещества, так и резким увеличением песчаной фракции в гранулометрическом составе. Вспашка приводит к снижению величины КУС, а также к гомогенизации гидрофобно-гидрофильных свойств пахотного слоя. На участках «Овсяница» и «Бобовая смесь» в слое 0-20 см величина КУС варьирует в диапазоне от 55° до 40° , ниже резко снижается до 13° - 30° . Снижение обусловлено в большей мере изменением гранулометрического состава и варьированием уровня нижней границы гумусового горизонта – 25-29 см. Величина КУС поверхности ТФП на участке «Козлятник» плавно снижается с глубиной от 48° до 32° (медианы по 3 полевым повторностям), резкие переходы отсутствуют, что обусловлено отсутствием вспашки более 27 лет и особенностями корневой системы козлятника (стержневая до 60-80 см). Значимые положительные корреляции разной силы между величиной КУС и содержанием углерода и азота в почве получены нами для

всех вариантов опытов. Связь показателя смачиваемости с соотношением углерода и азота не столь очевидна и ее выявление требует проведения дальнейших исследований изменения строения органического вещества почв при разной агрогенной нагрузке.

УДК 631.434

ФИЗИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ СТРУКТУРЫ ПОЧВ

Моисеев К.Г.^{1,2}

¹Агрофизический научно-исследовательский институт,

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, kir_moiseev@mail.ru

Применение теории фракталов для исследования топологии и моделирования почвенной структуры, к закономерностям протекания физических процессов в самоподобных дисперсных средах (в том числе, к вычислению гидрофизических функций), является перспективным направлением в физике почв.

Общей чертой фрактальных моделей порового пространства почв является аффинное подобие, то есть масштабная инвариантность, пространство организовано из частей, которые подобны целому, автомодельны при изменении своего масштаба. Во фрактальных моделях порового пространства почв, главным параметром является топологическая размерность Хаусдорфа (обозначается D). С точки зрения топологии фрактальная размерность это степень заполнения пространства структурными элементами. Сама по себе величина фрактальной размерности является индикатором, позволяющим оценить текущее, ретроспективное и перспективное состояние почв. Такая оценка позволяют снизить трудоемкость работ по сбору данных для моделирования и проектирования гидротехнических систем, расчетов норм орошения и многих других инженерных задач. Величину D вычисляют на основе алгоритмов базирующихся на разных подходах к определению структурного элемента порового пространства. Или на основе того, что принимают за основу вычислений; распределение пор по размерам в пространстве твердой фазы почв или распределение по размерам твердых частиц в поровом пространстве почв. Канонические методы определения и вычисления фрактальной размерности D порового пространства почв представляет трудоемкую многошаговую операцию. Разработка более простых и менее трудоемких алгоритмов определения фрактальной размерности пористых сред (почв и грунтов) все еще является актуальной задачей гидрофизики почв. Существенным ограничением в использовании фрактальных моделей функций водоудержания и влагопроводности почв является отсутствие физического обоснованного, независимого и относительно простого способа определения фрактальной размерности текстуры и структуры почв.

Метод определения фрактальной размерности в лабораторных условиях разработан на основе исследования нестационарной фильтрации влаги через почву. Концепция экспериментального метода определения фрактальной размерности структуры почв базируется на эффекте Харста. Суть в том, что колебания объемного расхода воды в процессе фильтрации влаги через почвенный образец являются многомасштабным, или фрактальным физическим процессом, полностью обусловленным фрактальным строением порового пространства почв. Такая ситуация позволяет разработать метод непосредственного физического определения фрактальной размерности порового пространства почв.

При исследовании фильтрации влаги через почву по ГОСТ 25584-2016, необходимо построить график зависимости объемного расхода от времени - временной ряд (соблюдая повторности опыта). При фильтрации воды через почву возможны два исхода испытаний. В первом случае полученная кривая или временной ряд зависимости объемного расхода влаги (Q) от времени (t) имеет гладкий экспоненциальный характер. Эффекта Харста или задержки

воды при фильтрации не наблюдается. В ином случае построенная зависимость $Q(t)$ имеет характер затухающей синусоиды - эффект Харста наблюдается. В этом случае можно осуществить расчет фрактальной размерности порового пространства почв методом линейных систем теории фракталов.

Были произведены исследования нескольких разновидностей почв и почвенных горизонтов. Апробация метода заключается в сравнении результатов определения размерности D , назовем - методом фильтрации влаги через образец почвы, и каноническим методом. Фрактальную размерность структуры почв каноническим методом рассчитывали по данным сухого рассева (агрегатного анализа) почв, данных о плотности твердой фазы почв и плотности сложения, гранулометрического анализа почв. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 Значения фрактальной размерности объектов исследования

Название	Фрактальный декремент δ	Фрактальная размерность D (эффект Харста)	Фрактальная размерность, общепринятый способ расчета
Агродерново-подзолистая типичная глееватая почва песчаного гранулометрического состава, гор-т С.	0,69	2,69	2,71
Агродерново-подзолистая типичная глееватая почва песчаного гранулометрического состава, гор. С., модель (нарушенное сложение)	0,76	2,76	2,73
Агродерново – подзолистая, типичная, супесчаная почва, гор-т Р.	0,72	2,72	2,74
Агродерново – подзолистая, типичная, супесчаная почва, гор-т С.	0,54	2,54	2,59
Агрочернозем южный, тяжелосуглинистый, гор-т Р (10-20см)	0,83	2,83	2,87
Агродерново-подзол окисленно - глеевый, среднесуглинистый гор В. модель (фракция менее 2мм)	0,49	2,49	-
Агрочернозем южный, тяжелосуглинистый, гор-т В (70-80см)	0,88	2,88	2,88

Результаты исследований показывают практически полную сходимость величин фрактальной размерности определенной на основании фильтрации влаги и рассчитанной каноническим методом. Имеет место систематическое, незначительное занижение значений D определяемых по фильтрации влаги.

Предлагаемый здесь метод определения фрактальной размерности почвенной структуры, в случае возникновения эффекта Харста при фильтрации влаги через почву, вполне оправдан. Разработка физически обоснованного, независимого и менее трудоемкого метода определения фрактальной размерности почв не завершена. Существует ряд вопросов требующих разрешения. Первый вопрос - очевиден. Если при фильтрации влаги не возникает эффекта Харста, то мы не можем определить фрактальную размерность структуры

почвы. В этом случае автор предлагает использовать для моделирования порового пространства почв и гидрофизических функций существующие регулярные модели почвенной структуры. Предлагаемый метод позволяет выбрать (по крайней мере) тип модели почвенной структуры (регулярная, не регулярная) для конкретной почвы. Располагая такой моделью, можем моделировать кривые водоудержания и влагопроводности почв, не прибегая к экспериментальным определениям данных функций.

УДК 631.43

ИЗМЕНЕНИЕ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Огородняя С.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, ф-т почвоведение, кафедра физики и мелиорации почв, Москва, email: sofya.ogorodnyaya@gmail.com

Нарушения лесных почв в значительной степени связаны с современными лесозаготовительными мероприятиями. При рубках леса, особенно при использовании тяжелой лесозаготовительной техники характерна существенная трансформация верхних генетических горизонтов почв. К настоящему времени достаточно детально оценены изменения морфологических и химических свойств почв при лесозаготовках. Физические свойства лесных почв, изменённых при рубках леса, изучены в значительно меньшей степени. С одной стороны, ожидается уплотнение почвы при сдавливании в результате первых проходов техники без значительного нарушения порового пространства. С другой стороны, при большом количестве проходов происходит перемешивание верхнего минерального горизонтов, подстилки и послерубочных остатков, что может привести к разрыхлению и трансформации порового пространства. Цель работы – проанализировать закономерности изменения порового пространства подзолистых почв в результате разного числа проходов техники и мероприятий по выравниванию колеи.

Исследования проводили на мониторинговых площадках, расположенных вблизи станции Язель в июне 2023 года. Исходный тип леса – хвойно-лиственное насаждение, почвы – подзолистые. Рубка проведена в декабре 2020 года (на момент исследований – третий года после рубки). Исследовали волокна после трех проходов техники и после десяти проходов, а также участок, на котором производили выравнивание колеи после десяти проходов. В качестве контроля был выбран пасечный участок, с которого происходит рубка, однако, нет воздействия техники, поэтому он остается механически ненарушенным. На перечисленных участках из верхнего минерального горизонта были отобраны монолиты для томографического исследования на томографе Bruker SkyScan 1172G. Также оценивался агрегатный состав методом Саввинова – сухим и мокрым просеиванием. Для получения качественной оценки рассчитывалось содержание агрономически ценных агрегатов диаметром 0.25-10 мм, коэффициент структурности (Кстр) и критерий водопрочности АФИ. Проведена корреляция со структурными показателями томографических данных и результатов структурного анализа с денсиметрическими фракциями органического вещества. На всех нарушенных участках выявлено уменьшение количества пор. Три прохода привели к усилению горизонтальной ориентированности, но в целом геометрия твердой фазы и порового пространства слабо изменилась. Десять проходов привели к значительному разрушению и топологическому упрощению структуры почвы. По результатам агрегатного анализа состояние почвы неудовлетворительное.

В то же время на участке с десятью проходами и последующим выравниванием напротив наблюдается тенденция к образованию агрегатов и дифференциации порового пространства, что подтвердилось данными агрегатного состава; структурное состояние почвы после выравнивания отмечается как отличное.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-74-10007, <https://rscf.ru/project/23-74-10007/>.

УДК 631.82:631.445.4(470.620)

ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА (IV) ОТ ДЕЙСТВИЯ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Онищенко Л.М., Швец Т.В.

ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина, Краснодар,

E-mail: dekanatxp@mail.ru

Введение. Главным накопителем углерода в биосфере является почва. При этом эмиссия диоксида углерода (IV) почвой – неотъемлемое звено в глобальном цикле этого элемента на планете. Выделяющийся с поверхности почвы CO₂ (диоксида углерода) является показателем состояния экосистемы. Минеральные удобрения – основной фактор не только регулирования продуктивности агроценозов, но и эмиссии диоксида углерода (IV). Поэтому возникает необходимость в исследовании действия видов минеральных удобрений на интенсивность этого процесса с поверхности почвы на территории Западного Предкавказья. Цель исследований – в агроценозе пшеницы озимой мягкой определить эмиссию (скорость эмиссии) диоксида углерода (IV) в зависимости от применения различных видов минеральных удобрений на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья.

Методика исследований. Оценка эмиссии диоксида углерода (IV) под влиянием азотных, фосфорных и калийных удобрений выполнялась в ходе эксперимента на базе Центра искусственного климата Кубанского ГАУ. Для проведения опыта использовали чернозем выщелоченный из многофакторного стационарного опыта, заложенного в 1981 году в учхозе «Кубань» КубГАУ, где вносились только азотные, фосфорные и калийные удобрения. Нами изучались наиболее контрастные варианты: контроль (000), азотные в дозе N₈₀ (200), фосфорные P₆₀ (020) и калийные K₄₀ (002) удобрения. Объект исследования – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках. При определении скорости эмиссии и количества CO₂ за 24 часа использовался абсорбционный метод И. Н. Шаркова.

Почва отбиралась с пахотного слоя опытных делянок в агроценозе пшеницы мягкой озимой 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота, где вносились только азотные (N₈₀), фосфорные (P₆₀) и калийные (K₄₀) удобрения. Подготовка почвы заключалась в извлечении пожнивных остатков с последующим перемешиванием до однородного состояния и просеиванием через сито с ячейками 3 мм. Набивка сосудов почвой осуществлялась по постоянной массе 450 грамм. Чашечки с щелочью устанавливались на деревянные палочки чтобы высота размещения составляла 1 см, площадь сосуда составляла 15 см². После размещения чашечек на подставки плотно накрывали пластиковыми стаканами, чтобы избежать потери диоксида углерода (IV). Моделирование погодных условий осени, лета и весны выполнялось в климатических камерах CONVIRON PGR15. Режим в климатических камерах устанавливался в по усредненным региональным многолетним данным температуры и влажности атмосферного воздуха за 17 октября, 31 марта и 1 июня.

Результаты и обсуждение. Чернозем выщелоченный имел следующие почвенно-агрохимические характеристики: содержание гумуса – 2,5 до 2,7 %, емкость катионного обмена варьировала от 31,1 до 34,7 мг-экв/100 г. почвы; гидролитическая кислотность изменялась от 0,8 до 1,1 мг-экв/100 г. почвы, степень насыщенности почв основаниями – 93,4–98,0 %. Содержание общего азота – 0,16–0,18 %, валового фосфора – 0,19 %, калия – 1,5–2,0 %, рН_{N2O} – 6,8–7,0; рН_{KCl} – 5,9–6,1. Плотность пахотного слоя невысокая (объемная масса 1,01–1,20 г/см³), но с глубиной она возрастает до 1,4–1,5 г/см³. Актуальная и обменная кислотность почвы - рН_{водн.} = 6,3–6,5, а рН_{сол.} = 5,9–6,1, с глубиной выявлено ее снижение. Обеспеченность подвижными формами азота и фосфора слабая и средняя, а обменным калием

– средняя и повышенная. Профиль чернозема выщелоченного дифференцирован на почвенно-генетические горизонты: $A_{\text{пах}}-A-AB_1-AB_2-B-C$, которому свойственна однородная темно-серая окраска с буроватым оттенком, начинающаяся с горизонта AB_1 .

На контрольных вариантах, где не вносились удобрения, наблюдалась наименьшая эмиссия диоксида углерода (IV) с весны и до осени. Доля влияния удобрений на эмиссию диоксида углерода (IV) составляла 66,17 %, а сезонного фактора на скорость эмиссии CO_2 – 54,63 %. Осенью наибольшая эмиссия диоксида углерода (IV) за экспозицию отмечена на варианте с внесением азотного удобрения. Весной и осенью азотные и калийные удобрения повышают скорость эмиссии CO_2 . Фосфорные удобрения, напротив, снижают показатель в весенний и летний периоды на 12,45 и 16,27 % соответственно. Скорость эмиссии диоксида углерода (IV) отражена на рисунке 1.

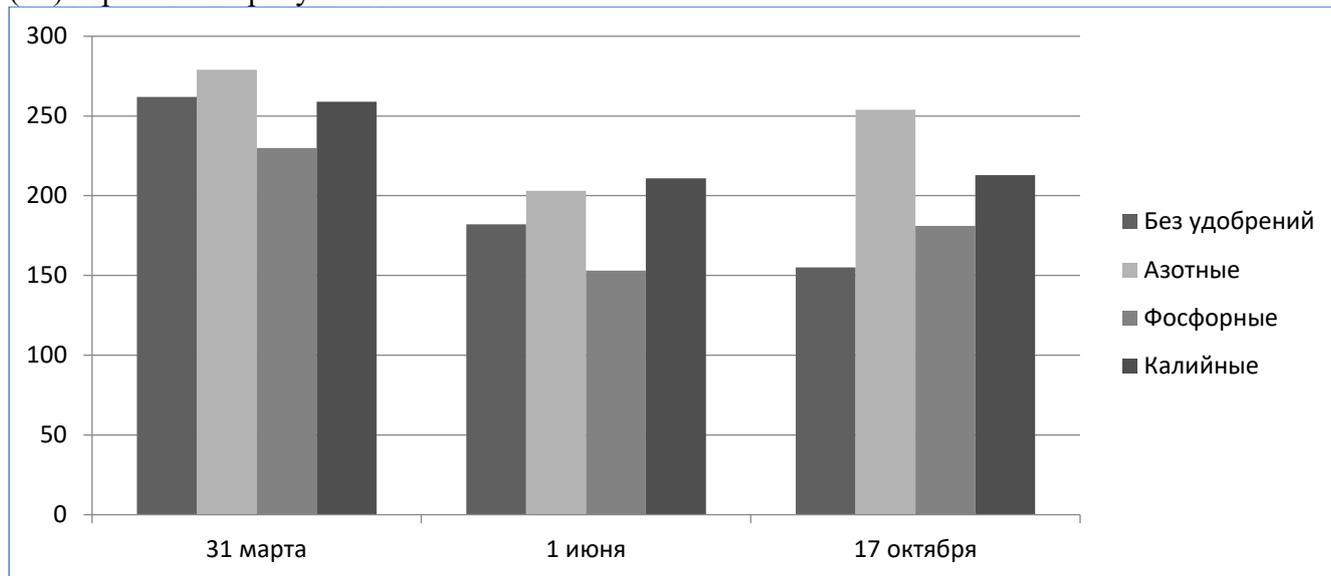


Рисунок 1 – Скорость эмиссии диоксида углерода (IV) почвой, кг/га за 24 часа. Азотные удобрения оказали наибольший эффект на скорость эмиссии оксида углерода (IV), которая весной была максимальной – 278,61 кг/га за 24 часа, а летом минимальная – 202,94 кг/га за 24 часа.

Внесение фосфорных удобрений оказало разностороннее действие на скорость эмиссии: в весенний и осенний периоды показатель повышался, а в летний, напротив, снижался.

Калийные удобрения достоверно повышали скорость эмиссии оксида углерода (IV) относительно контроля только в летний и осенний периоды на 15,39 и 37,82 %. Осенью наибольшая эмиссия диоксида углерода (IV) за экспозицию отмечена на варианте с внесением азотного удобрения. Весной и осенью азотные и калийные удобрения повышали скорость эмиссии диоксида углерода (IV). Фосфорные удобрения, напротив, снижали показатель в весенний и летний периоды на 12,45 и 16,27 % соответственно.

Заключение. Повышение эмиссии диоксида углерода (IV) с поверхности почвы на вариантах, где вносились азотные и калийные удобрения связано с тем, что применяемые аммонийная селитра и калий хлористый, при благоприятных гидротермических условиях весной и осенью способствовали минерализации почвенного органического вещества. Эти виды удобрений, формировали комфортную среду для повышения биологической активности почвы, которая сопровождалась интенсификацией процессов дыхания чернозема выщелоченного слабогумусного сверхмощного легкоглинистого на лессовидных тяжелых суглинках в агроценозе пшеницы озимой.

УДК-631.81.095.337

НАУЧНО - ОБОСНОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗВЕСТКОВАНИЯ КИСЛЫХ ПОЧВ

Осипов А.И.

К настоящему времени наукой убедительно доказано, что одним из основных средств интенсификации сельскохозяйственного производства является известкование кислых почв, которое, устраняя излишнюю кислотность, активизирует деятельность азотфиксирующих и нитрифицирующих бактерий, что, в итоге, усиливает азотное питание растений за счет усвоения атмосферного азота. Повышается активность фосфатмобилизирующих бактерий, способствующих переводу труднодоступных почвенных соединений фосфора в усвояемые для растений формы. Известковые частицы, попадая в почву, становятся центрами структурных агрегатов, способствуя формированию зернистой водопрочной структуры. Наличие кислых почв является одним из главных лимитирующих факторов получения стабильно высоких, экологически безопасных и биологически полноценных урожаев сельскохозяйственных культур. По этой причине ежегодные потери зерна в России составляли до 20 млн. тонн. С 1964 года в нашей стране началась работа по организации агрохимической службы, в задачу которой входило обследование почв колхозов и совхозов, а также проведение опытов с различными видами удобрений. В 1969 году была разработана программа известкования, позволившая за 20 лет создать положительный баланс кальция в земледелии и существенно уменьшить площади сильнокислых почв. Работы по известкованию осуществлялись полностью за государственный счет. В каждом районе по всей стране были созданы районные сельхозхимии, укомплектованные современной на то время техникой, построены прирельсовые склады. В результате проделанной работы в 1990 году мы добились наибольших объемов известкования в стране, которые составили 6,5 млн. га. Однако темпы известкования в ряде регионов значительно сдерживались из-за недостатка природных известковых материалов. Поэтому, для повышения обеспеченности земледелия известковыми удобрениями с меньшими затратами, ученые предложили использовать местные карбонатные породы и известьсодержащие отходы промышленности. К ним относятся некоторые виды шлаков, шламов, золы сланцев, бурых углей, отходный мел, известково-доломитовые отходы, дефекат и др. Многие из шлаков и зол обладают высокой активностью взаимодействия с почвой, чем существенно превосходят природные карбонаты, а содержащиеся в них примеси микроэлементов часто оказывают положительное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных растений. В то же время отходы могут содержать различные тяжелые металлы (свинец, кадмий, мышьяк, селен, стронций) и другие опасные токсичные неметаллы и элементы. Использование таких отходов в качестве мелиорантов может представлять опасность для экологического состояния почв и сопредельных сред. Поэтому каждый новый мелиорант, полученный из отходов, должен подвергаться всесторонней экологической оценке и нормированию, базирующему на результатах мониторинга. Однако к началу третьего тысячелетия, с распадом СССР и приватизацией совхозов и колхозов, экономические условия функционирования сельского хозяйства нашей страны изменились. Районные сельхозхимии из-за отсутствия работ были расформированы. Снизилась государственная поддержка работ по поддержанию почвенного плодородия, а большинство хозяйств не имели достаточных финансовых ресурсов для организации известкования. Объемы известкования сократились в 30 раз и в 2010 году составили 210 тыс. га. Среди лидеров известкования кислых почв в настоящее время следует выделить Республику Татарстан, где с 2002 года создано ОАО «Татагрохим», которое занимается вопросами повышения плодородия земель, агрохимическим обслуживанием сельхозтоваропроизводителей и ведением подсобных хозяйств. В состав ОАО «Татагрохим» входят 30 районных предприятий «Агро-химсервис», 15 подсобных хозяйств, 17 районных карьеров по добыче и производству известковых удобрений с общей производительностью по известьсодержащим мелиорантам 1,5 млн. тонн. Равномерное расположение их по Республике существенно снизило затраты по доставке химических мелиорантов до поля, а, в конечном итоге, и стоимость всего комплекса работ по известкованию. В 2006 году на

доломитовую и известняковую муку специалисты Агрофизического института разработали технические условия «Удобрения известковые местные ТУ 2189-015-29314001-2006», согласно которым данные агрохимикаты вносили в сыромолотом виде с тониной помола менее 5 мм., что существенно снижает стоимость известкования. Окупаемость 1 руб. затрат в Республике составляла 2,26 руб., а срок окупаемости мелиоранта-2,0- 2,5 года.

Хорошо известно, что продолжительность действия извести обусловлена с одной стороны дозой ее внесения, химическим и гранулометрическим составом. С другой стороны отчуждением кальция и магния урожаями сельскохозяйственных культур и потерь за счет вымывания, которые в свою очередь зависят от уровня применения минеральных удобрений и их химического состава, количества просачивающихся вод, гранулометрического состава почв, времени покрытия почв растительностью. Очень важно знать природу кислотности, чем она обусловлена. Так, например, на торфяных почвах культурные растения прекрасно развиваются при pH-4,5, так как кислотность здесь обусловлена ионами водорода. На избыточно увлажненных, глеевых почвах кислотность обусловлена присутствием в ППК ионов железа и марганца, поэтому на этих почвах доза извести рассчитывается до pH-6,5, т.к. только при этом значении pH фитотоксичность этих элементов прекращается. Убедительно доказано, что скорость взаимодействия химических мелиорантов с почвой и продолжительность их действия в сильной степени зависит от химических свойств извести и ее гранулометрического состава. Известно, что относительно крупные частицы диаметром от 3 до 5 мм не являются «балластом», как считалось ранее, хотя и взаимодействуют с почвой гораздо медленнее, чем мелкие частицы. Для поддержания относительно постоянного уровня реакции почвенной среды в течение продолжительного времени известковые материалы должны содержать широкий спектр частиц различного размера.

В Агрофизическом институте с 2013 года ведутся работы по внедрению усовершенствованной технологии известкования кислых почв сыромолотой доломитовой мукой с тониной помола менее 5 мм с учетом пестроты почвенной кислотности. Для выполнения работ в системе «точного земледелия» необходимо предварительно провести агрохимическое обследование сельскохозяйственных полей с топографической привязкой и создать на основе полученных лабораторных данных «карты-задания», которые будут использоваться бортовыми системами комплекса в поле. Специалистами института впервые создан программно-аппаратный комплекс на отечественном оборудовании для дифференцированного внесения известковых мелиорантов и других минеральных удобрений, который был показан на Российском дне поля 11 июля 2019 года. Комплекс позволяет проводить работы как в обычном режиме (сплошной, одинаковой дозой), так и в режиме «точного земледелия» - дифференцированно. Он изготовлен по новейшим технологиям с применением качественных материалов и с использованием передовых разработок в области электроники, средств управления и мониторинга техники, программного обеспечения. Для внесения химических мелиорантов в Ярославле фирмой ПК «Ярославич» с 2019 года выпускаются современные машины УРМ-10 и УРМ-10М (универсальный распределитель материалов). Они доказали свое превосходство по отношению других машин, обладая большей производительностью и надежностью в работе, высоким качеством внесения мелиорантов (неравномерность у новых машин от 3 до 10%, а у старых 20-25%), а также возможностью работать по точному земледелию с электронными картами полей, позволяющими учитывать пестроту почвенной кислотности. С целью реализации программы повышения плодородия почв и увеличения площадей по известкованию в Ленинградской области компанией ООО «Инко-Балт» в 2021 году введены в эксплуатацию две линии по производству мелиорантов для химической мелиорации кислых почв ДСМ (доломит сыромолотый мелкозернистый) и ПДМ (пылевидная доломитовая мука). Для данных мелиорантов разработаны технические условия и в 2022 году они завершили государственную регистрацию. Мощность производства мелиорантов до 500 000 тонн в год.

УДК 631.425.4

ПОЧВЫ НОРИЛЬСКА В ЗЕЛЕННОЙ УРБАНИСТИКИ

Я. В. Пухальский¹, М. А. Чукаева², С. И. Лоскутов¹, В. Р. Сидорова², Е. В. Воропаева¹, В. А. Матвеева²

¹ ГАОУ ВО ЛО «Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Известно, что для Норильского промышленного региона (НПР) характерны аномальные значения содержания тяжелых металлов (ТМ) в окружающей среде. Еще до начала активного освоения Средней Сибири приоритетными загрязнителями здесь считали медь Cu, цинк Zn, кобальт Co и никель Ni. С активным освоением региона в результате индустриализации 30-х годов прошлого века и строительством предприятий цветной металлургии вблизи Норильска ситуация в районе усугубилась. Произошло расширение границ техногенно нарушенных территорий. Очаги наибольшего загрязнения присущи 20—50-километровому радиусу от источника загрязнения. Здесь оседает порядка 20% поллютантов. Остальные 80% разносятся воздушными массами на 200-километровую зону от Норильска. Благодаря наличию многолетней мерзлоты и слабо выраженной водной миграции эти токсиканты прочно закрепляются в верхнем органогенном горизонте типичных для данного региона почв (торфяно-криоземов, грануземов и литоземов). Концентрация поллютантов в импактной зоне может достигать 200 мг/кг и выше.

Очистка загрязненных территорий и охрана окружающей среды в зоне промышленного освоения Арктики коренные малочисленные народы Севера относят к числу приоритетных задач. В рамках действующего с 17 февраля 2012 г. документа «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации до 2030 года», утвержденного Правительством РФ, в стране функционирует национальный проект «Экология», который предусматривает комплекс мероприятий по снижению эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух в крупных промышленных центрах, включая Норильск. Все чаще во многих развитых странах для рекультивации почв *in situ* используют фиторемедиацию — технологию рекультивации нарушенных земель с помощью специально подобранных растений-гипераккумуляторов. Помимо традиционных культур из семейства Злаков и Капустных, среди потенциальных кандидатов для озеленения различных территорий городских почв используют цветочные растения, в частности относящиеся к роду бархатцев (*Tagetes*). Показано, что они не уступают по выносу меди и свинцу из загрязненных почв известному гипераккумулятору - горчице сарептской и горчице белой. Среди видов, принадлежащих к роду *Tagetes*, по проценту биоремедиации тяжелых металлов из загрязненных почв бархатцы прямостоящие (*T. erecta*) превосходят бархатцы отклоненные (*T. patula*) за счет более высокого накопления своей биомассы.

Для оценки почв вблизи НПР было отобрано 12 пробных площадок (Рис. 1) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. Химический анализ степени их загрязнения приведен в таблице 1.

Как и ожидалось, бархатцы прямостоячие *Tagetes erecta* показали более высокий адаптационный и фиторемедиационный потенциал для очистки земель, загрязненных ТМ.

Список литературы:

Чукаева М.А., Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., и др. Оценка изменения фитоэкстракции тяжелых металлов бархатцами прямостоячими (*Tagetes erecta*) из загрязненных почв Норильска при использовании гуминовых добавок // Арктика: экология и экономика. 2024. Т. 14, № 1. С. 90-102. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-1-90-102

Puhalsky J.V., Vorobyov N.I., Loskutov S.I. *et al.* Neural Network Cognitive Analysis of Accumulation of Metals by Marigold. *Dokl. Earth Sci.* 2024.

<https://doi.org/10.1134/S1028334X23603759>



Рисунок 1. Распределение точек отбора проб в Норильском промышленном регионе.

Составлено авторами на картографической основе <https://yandex.ru/maps>

№	Место отбора	Широта	Долгота
1	Граница законсервированного хвостохранилища Медного завода	69,345252	88,169119
2	Граница жилой зоны Норильска	69,355967	88,167849
3	Граница отвала Медного завода	69,368040	88,168672
4	Отвал Медного завода	69,376853	88,166437
5	Территория пляжа действующего хвостового хозяйства	69,355425	88,138596
6	Рекультивированный отвал Медного завода	69,369536	88,145513
7	Граница пляжа действующего хвостового хозяйства	69,377231	88,148927
8	Территория пляжа законсервированного хвостохранилища	69,354672	88,115352
9	Территория пляжа действующего хвостового хозяйства	69,375715	88,115209
10	Территория промышленной зоны Медного завода	69,357230	88,081642
11	Отвал завода передела никелевых руд	69,369694	88,085496
12	Граница пляжа действующего хвостового хозяйства	69,376239	88,088021

Таблица. Показатели средних значений элементного профиля в отобранных почвенных пробах

Показатель	Cr	Cu	Ni	Sr	Ti	V	Zn
	Содержание (ppm) металлов: валовая/подвижная формы						
ОДК*/ПДК**	б/н/н	132/3	80/4,0	н/н	н/н	80	220/23
Условный фон***	70– 200/6,0	20– 47/1,4– 3,5	17– 58/0,8– 6,7	180– 300/10,5– 25,5	513– 9800/–	100– 120/–	45– 172/1,1– 23,0
1	1800/15	2800/27 57	3800/155 5	260/158	9600/20	260/6,3	160/67
2	560/2,6	670/630	380/226	190/186	8400/6,2	280/4,4	100/29
3	2300/3,6	500/499	1000/544	190/71	8200/5,4	240/3,6	110/40
4	2200/5,3	400/383	1000/915	210/86	7300/5,6	220/3,6	100/38
5	1900/1,7	1300/12 63	1200/106 6	180/84	8300/5,4	250/3,5	110/33
6	350/3,7	1700/30 2	1400/134 9	340/336	5200/6,1	190/3,8	160/24
7	170/5,9	1000/78 8	1700/164 0	160/156	5800/6,6	360/3,9	150/27
8	1600/1,7	1200/11 75	1100/970	180/73	7700/5,1	220/3,5	100/30

Показатель	Cr	Cu	Ni	Sr	Ti	V	Zn
	Содержание (ppm) металлов: валовая/подвижная формы						
9	900/5,1	700/191	1400/543	180/162	7300/7,7	200/8,0	92/32
10	1400/16	3400/33 51	3300/175 2	220/153	8500/19	210/5,6	150/83
11	490/8,7	1200/84 9	1400/138 3	220/185	4900/5,8	150/4,1	100/56
12	1400/3,9	1800/17 48	1900/183 6	180/165	6700/7,5	200/4,5	120/65

* Значения ПДК приняты в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве»;

** Значения ОДК приняты в соответствии с ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» $pH_{KCl} > 5,5$; н/н — показатель не нормируется;

*** Значения условного фона по валовым содержаниям металлов приняты равными диапазону кларков по миру; по подвижным формам — содержанию подвижных форм металлов в разных типах почв СНГ.

УДК 631.4

ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛЬ-ФОРМИРУЮЩИХ ПОЧВЕННЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ В СОВРЕМЕННЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЯХ

Садовникова Н.Б.^{1,2}, Смагин А.В.^{1,2}, Будников В.И.², Полушкин Л.Б.², Беляева Е.А.², Кривцова В.Н.^{1,2}

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: nsadovnik@rambler.ru

²ИЛАН РАН, Московская обл. с. Успенское, e-mail: llol871990@mail.ru

Полимерные гель-формирующие материалы активно позиционируются в отрасли наукоемких агротехнологий как эффективные почвенные кондиционеры, способные в малых дозах (0,1-0,5% масс.) оптимизировать водоудерживающую способность, структуру, гидравлическую проводимость, поглотительную способность, противоэрозионную стойкость и иные базовые характеристики почвенного плодородия, а также использоваться в качестве агентов агрохимических систем с контролируемым высвобождением химикатов и пестицидов. Однако, несмотря на обилие технологических разработок в области органического синтеза таких материалов (полимерные и биополимерные композиты) и их форм (гели, микросферы, микрокапсулы, пленки и тд.), работ по оценке их эффективности в полевых условиях не так много, и в нередки содержится крайне противоречивая информация по ключевому вопросу «доза-эффект». Доклад анализирует результаты многолетних полевых испытаний инновационных гель-формирующих композитов отечественного производства на примере овощных культур в условиях естественных осадков и полива в различных регионах РФ и Узбекистана. Наряду с успешными результатами приводится информация об основных проблемах использования гель-формирующих почвенных кондиционеров в агротехнологиях и о факторах, определяющих их устойчивое функционирование в почвах, как распределенных, химически- и биологически- активных пористых средах с переменной влажностью. При правильном использовании эти материалы позволяют получать устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур с повышением продуктивности от 20-30% и более, надежной защитой от патогенных заболеваний, включая фитофтороз, 1,5-2-кратной экономией водных ресурсов. Однако, для достижения таких результатов требуются наряду с хорошим качеством самих почвенных кондиционеров, соблюдение точных норм и способов их внесения, а также регламентов орошения, определяемых индивидуально (не шаблонно) в зависимости от специфики почвенно-климатических условий и потребностей выращиваемой растительности на базе компьютерного технологического моделирования.

Финансовая поддержка: Госконтракт Минобрнауки РФ № 075-15-2022-1212 “ Разработка и применение инновационных почвенных мелиорантов для повышения продуктивности и предотвращения деградации аридных земель”

УДК 631.43

Физические и химические свойства пыли разных городов Европейской части России*

Садыков А.Н.¹, Иванова А.Е.¹, Болокова М.А.², Умарова А.Б.¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,

² Майкопский технологический университет, Майкоп

mouube@gmail.com

Благоприятное для человека состояние окружающей среды в условиях города является актуальной задачей не только экологии, но и почвоведения. Одним из загрязнителей урбанизированных территорий является городская пыль. Она имеет сложный состав природного и антропогенного происхождения и включает, в том числе, пылеаэрозоли, фрагменты отделочных материалов зданий и сооружений, остатки растительности и других живых организмов, микропластик, нефтепродукты и проч. Городская пыль представлена частичками разного размера, обладающими разной способностью к миграции с водными или воздушными потоками. При попадании на поверхность почв, городская пыль меняет не только ее химический состав, но и ряд физических характеристик, таких как гранулометрический состав, сорбционные свойства, смачиваемость поверхности твердой фазы, удельная площадь поверхности частиц.

Образцы городской пыли были отобраны в летний период 2022 года после не менее 5-дневного периода без осадков в следующих городах: Сыктывкар, Москва, Краснодар, Майкоп, Сочи. Пыль отбиралась в трех проворностях с помощью инертных совка и венка в двух наиболее контрастных участках пешеходных дорог по удаленности от автомобильных дорог. Одна из двух точек находилась на тротуаре дороги или непосредственно на самой дороге, отражая условия с наибольшей антропогенной нагрузкой, а другая во внутренней открытой части парка, защищенной со всех сторон посадками древесных насаждений. При отборе учитывалась площадь смета и определялась масса образца. Вполне закономерным явилось то, что количество пыли рядом и на проезжей части выше для всех изученных городов по сравнению с парковыми территориями, причем наибольшее количество пыли было собрано в Сыктывкаре и составило 250 г/м², а наименьшее количество в Москве - 8,3 г/м². Разница в количестве обнаруженной пыли на 1 м² в разных городах прежде всего отражает качество и частоту уборки улиц.

После отбора крупного мусора образцы просеивали сквозь сита диаметром >1, 1-0,25 и <0,25 мм. Просеянные образцы в воздушно сухом состоянии хранились в герметичных пластиковых контейнерах. Фракция >1 мм оценивалась визуально, она включала каменистую часть, растительные остатки и крупный мусор разного генезиса. Гранулометрический состав всех придорожных образцов фракции меньше 1 мм имеет преимущественно песчаный состав, за исключением пылеватых и пылевато-песчаных образцов из г. Краснодар. На территории парков происходит накопление в большей степени крупного песка, а на территории дорог фракции крупной и средней пыли. Содержание углерода на дорогах выше, чем в парковой части городов, однако его генезис связан с антропогенной деятельностью, что подтверждается результатами съемки поверхности образцов методом сканирующей электронной микроскопии. Определение краевого угла смачивания показало, что все образцы в сухом состоянии обладают слабой сорбционной способностью, хотя в целом краевой угол смачивания пыли, отобранной вдоль автомагистралей, характеризуется более высокими значениями в сравнении с парковыми образцами для всех исследованных городов.

*Работа выполнялась в рамках научно-образовательного консорциума «Вернадский»

УДК 631.4

БАЛАНС УГЛЕРОДА В АГРОЭКОСИСТЕМАХ ТУВЫ

Самбуу А.Д., Нажик М.К., Оксюлюк А.О.

Центр биосферных исследований Республики Тыва, Кызыл, sambuu@mail.ru

Баланс органического вещества в почвах складывается из поступления и потерь углерода из них. Приходной статьей баланса является сток CO_2 в виде чистой первичной продукции растений, расходной – поток углекислоты из почв в результате дыхания почвенных гетеротрофных микроорганизмов и животных, разлагающих опад. В естественных экосистемах с течением времени устанавливается равновесие, при котором ежегодный вход углерода равен его выходу, а запасы почвенного органического вещества не меняются. Исследования проводили в агроэкосистемах лесостепной зоны Республики Тыва в период 2010-2023 гг. методом хронорядов. В настоящее время посевная площадь в республике сосредоточена в лесостепной природно-климатической зоне и почвы аккумулируют 1280 тыс. т С, из которых 26% приходится на легкоминерализуемое органическое вещество и 74% на Сстаб. Почвы межгорных котловины Тувы в основном легкого гранулометрического состава с большой водопроницаемостью, малой влагоемкостью, низкой влажностью, меньшим содержанием биофильных элементов, но и меньшей прочностью их связи, большей скоростью перехода из почвы в раствор, меньшей буферной емкости почв и их способностью к восстановлению концентрации ионов в почвенном растворе при отчуждении с урожаем [1]. Итак, суммарная аккумуляция углерода в агроэкосистемах Тувы достигает – 1330 тыс. т. В почвенном блоке углерода находится 96%, а в фитомассе – 4%. Полученная величина при расчетах баланса определяет, какую роль выполняют сельскохозяйственные культуры в биосфере: являются ли нетто-стоком для CO_2 атмосферы или его источником в атмосферу. Выходная часть углеродного баланса состоит из той части продукции культур, которая отчуждается с урожаем. В лесостепной зоне за исследуемый период она равняется в среднем 23 тыс. т год⁻¹. Оценки возврата углерода в почву с растительными остатками зависят от вида полевой культуры и интенсивности прироста надземных органов и корней, обеспеченности почвы питательными элементами и водой. Максимальные оценки отмечаются в агроэкосистемах многолетних культур, минимальные – однолетних. Растительные остатки в почве постепенно подлежат разложению, которое сопровождается механическим разрушением растительных тканей, их биохимической и химической трансформацией. В процессе разложения значительная часть органических остатков минерализуется до конечных продуктов окисления, и только небольшая часть подлежит гумификации, приводящей к образованию «новых» гумусовых веществ. Минерализационный поток углерода в агроэкосистемах образуется при разложении пожнивных остатков и минерализации гумуса. Величина суммарного минерализационного потока углерода в агроценозах лесостепной зоны Тувы составляет 21 тыс. т год⁻¹. В среднем в республике ежегодно минерализуется 70-90% массы растительных остатков. Выход углерода из агроэкосистемы складывается из отчужденного с урожаем, выделившегося в процессах минерализации мортмассы и гумуса, а также гетеротрофного дыхания микроорганизмов в почве и дыхания корней. Суммарный выход углерода ежегодно варьирует, но в среднем за 13 лет составил 50 тыс. т в год. Выявлено, что агроэкосистемы лесостепной зоны Тувы в балансе углерода являются нетто-стоком CO_2 атмосферы. В лесостепной зоне наиболее благоприятные почвенно-климатические условия для возделывания полевых культур, где при соблюдении технологии выращивания сельскохозяйственных культур можно сохранять баланс углерода бездефицитным.

1. Жуланова В.Н. Агроэкологическая оценка почв Тувы: диссер. докт. биол. наук. М., 2013. 322 с.

Работа выполнялась в рамках ВИП ГЗ (рег. № 1022090600007-9).

УДК 631.43

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МУЛЬЧИРУЮЩИХ СУБСТРАТОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УРАБНОЗЁМА, НА ПРИМЕРЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК ПОЧВЕННОГО СТАЦИОНАРА МГУ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

Силаев М.В., Ахметзянова Р.Р., Ежелев З.С.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: silaevmv@my.msu.ru

Мульчирование - доступный и распространенный способ изменения физических и химических свойств почв. Многими авторами отмечено положительное влияние мульчирующих субстратов на водный и температурный режимы почв, повышенное накопление органических веществ, снижение поверхностного стока и повышение противозерозионной стойкости почвы. В совокупности положительное влияние мульчи на почвы и декоративная функция повлияло на её распространение не только на сельскохозяйственных полях, но и в ландшафтной архитектуре и городском хозяйстве. В частности, в урбанизированных условиях мульчирующие субстраты могут быть использованы как механизм восстановления и регулирования водного и температурного режима городских почв, постоянно находящихся под влиянием антропогенной нагрузки. Объект настоящего исследования представлен 12 экспериментальными площадками 3х1 метр, заложенными на территории инструментальных площадок почвенного стационара МГУ имени М.В.Ломоносова осенью 2021 года. 11 экспериментальных площадок были покрыты 7 органическими и 4 минеральными мульчирующими субстратами. Для покрытия были выбраны следующие субстраты (перечислены в порядке расположения на площадках): мрамор, змеевик, кокосовые чипсы, красная сосновая щепа, фоновая площадка (черный пар), кора лиственницы фракция 5-10 см, кора лиственницы фракция 1-5 см, кора сосны фракция 5-10 см, кора сосны фракция 1-5 см, сосновая щепа, вулканический туф, пеностекло. На всех экспериментальных площадках толщина мульчирующего слоя составляла 5 см. Почвы площадок представлены урбанозёмом. Перед установкой эксперимента почвы площадок были гомогенизированы вспашкой на 25 см и выравнена.

Для оценки физических свойств почвы были выбраны следующие свойства: температурный режим верхнего слоя (0-10 см), влажность почвы верхнего слоя, плотность, а также непосредственно физические свойства мульчирующих материалов. Для оценки температурного режима на 1 метре каждой площадки были установлены температурные датчики Elitech gc-4 на глубинах 0, 5, 10 см. Для оценки влажности в летний период проводились режимные наблюдения влагомеров HH2 Moisture Meter с установленным щупом ML3 ThetaProbe производитель Delta-T, GB. Также с первого метра производился отбор образцов для определения плотности и гранулометрического состава.

Определение физических свойств мульчирующих субстратов проводилось в лабораторных условиях. Были определены наименьшая влагоемкость, коэффициент фильтрации, плотность сложения и нагрузка. Под нагрузкой мы понимаем массу слоя мульчи толщиной 5 см на 1 м², значения нагрузки приводятся для абсолютно сухого состояния. По результатам наибольшими показателями наименьшей влагоемкости обладали органические образцы порядка 60%, а также пеностекло 42,27%, в то же время мрамор и вулканический туф обладали 1,11%, 3,99%, соответственно. Наибольшей нагрузкой обладали минеральные субстраты обладали минеральные каменистые субстраты, которая составляет от 73 кг/м³ (мрамор) до 79 кг/м³ (вулканический туф), обладающие плотности от 1,5 г/см³ до 1,6 г/см³, соответственно. Нагрузка органических субстратов и пеностекла составила от 3 кг/м³ (кокосовые чипсы) до 12,5 кг/м³ (пеностекло), при плотности от 0,1 г/см³ до 0,4 г/см³, соответственно.

Коэффициент фильтрации (КФ) определялся методом трубок с постоянным напором, который основан на создание и поддержание слоя с постоянной высотой водного столба и фиксации количества профильтрованной воды. Наименьший коэффициент фильтрации

свойственен мелкодисперсным органическим субстратам: кокосовые чипсы 2,5 см/мин; кора лиственницы мелкая фракция 3,2 см/мин; кора сосны мелкая фракция 0,8 см/мин. По результатам измерений можно сделать вывод о том, что коэффициент фильтрации в первую очередь определяется размерами фракций выбранных субстратов.

Гранулометрический состав был определен методом лазерной дифракции на анализаторе размера частиц Masterize 3000E, Malver Instruments Ltd, USA. В результате проведенного анализа гранулометрического состава всех исследуемых площадок было выявлено, что они обладают близким распределением частиц по размерам и все могут быть отнесены по классификации Н.А. Качинского к среднему суглинку крупнопылеватому-мелкопылеватому. Наибольшее содержание физической глины составило 39%.

В ходе двух лет исследования было проведено 4 определения плотности почвы методом режущего кольца. В рамках каждого пробоотбора отбиралось по 3 кольца известного объема с каждой экспериментальной площадки. В течение эксперимента можно отметить повышение плотности под всеми мульчирующими субстратами и черным паром. Быстрее всего плотность установилась под субстратом, оказывающим наибольшую нагрузку на почву, – вулканическим туфом. В последнем пробоотборе плотность почвы составила от 1,15 до 1,38 г/см³, что можно считать близким к оптимальному значению плотности для почвы среднесуглинистого гранулометрического состава.

Для анализа температурного режима было выбрано три периода: установления устойчивого снежного покрова, начало БАП (биологически активного периода), летний период (июнь 2022 г.). В период установления снежного покрова отрицательные температуры на глубине 5 см были зафиксированы только под черным паром и змеевиком. На глубине 0 см, непосредственно под мульчей, отрицательные температуры были зафиксированы только под змеевиком, мрамором, вулканическим туфом и сосновой корой крупной фракцией. В июне наибольшие максимальные температуры на глубине 5 см среди субстратов достигались на фоновой площадке (35,3 °С) и под вулканическим туфом (30,9 °С). Под другими субстратами температуры составили от 19 до 25,9 °С. Наименьшие амплитуды температур характерны для почвы под кокосовыми чипсами и составляет 8,9 °С, что определяется высокой влагоудерживающей способностью субстрата и, следовательно, высокой теплоемкостью и низкой теплопроводностью.

По полученным результатам анализа температурного режима можно сделать следующие выводы:

1. Использование мульчирующих субстратов позволяет понизить температуры почвы и избежать её промерзания в зимний период;
2. Использование мелкодисперсных светлоокрашенных органических субстратов позволяет удерживать большее количество влаги в почве.

УДК 631.4

ПРОЦЕССНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ БИОКОСНЫХ СИСТЕМ С УГЛЕРОДНОЙ СЕКВЕСТРАЦИЕЙ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ

Смагин А.В.^{1,2}, Садовникова Н.Б.^{1,2}, Касимов А.Р.³

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, smagin@list.ru; nsadovnik@rambler.ru;

²Институт лесоведения РАН, МО;

³Sultan Qaboos University, Oman, Muscat, anvar@squ.edu.om

Подавляющее большинство экспертных моделей для оценки секвестрации органического углерода в почвах и ландшафтах представлено линейными (квазилинейными) динамическими системами с жестко детерминированным итогом постепенного, плавного развития к стационарным состояниям (инвариантам). Любые отклонения от таких градуалистических траекторий динамики, включая квазипериодические режимы,

объясняются нестационарностью и действием внешних управляющих факторов. Подобное широко распространенное линейное мировоззрение обедняет представления о реальных механизмах организации природных и антропогенных динамических систем, секвестрирующих углерод, и приводит к существенным ошибкам в реконструкции и прогнозе этого процесса, его реакции на глобальные климатические изменения и иные внешние воздействия. Альтернативный подход учитывает наличие внутренних нелинейных связей (функций) в моделируемых динамических системах углеродного цикла, возможность запаздывания в них, а также эффект их пространственного распределения с контрастностью (внутренней неоднородностью) структурно-функциональной организации, в особенности присущей почвам. Доклад иллюстрирует возможности такого методологического подхода к проблеме процессного моделирования долгосрочной карбоновой секвестрации и разработке инновационных технологий ее управления для искусственно-создаваемых ландшафтов с целевой функцией активного связывания углерода атмосферы (прототип «карбоновых ферм»). Приведены примеры сравнительного анализа двух методологических подходов к оценке углеродной секвестрации с использованием широко известных аналитических и компьютерных (численных) моделей углеродного цикла, а также альтернативных разработок в форме нелинейных и пространственно-распределенных моделей динамических биокосных систем, реализованных численно в компьютерной среде MATLAB-06 с пакетами решений ode и pde соответствующих дифференциальных уравнений. Нелинейный методологический подход иллюстрируется как качественным анализом потенциальных режимов и структур биокосных систем на базе теории устойчивости динамических систем по Ляпунову, так и количественными примерами нелинейных процессных моделей углеродной секвестрации при автогенной сукцессионной динамике лесных экосистем на почвах легкого гранулометрического состава, а также нелинейных взаимоотношений в системе «микробоценоз – органический углерод почвы». В агроценозах альтернативный подход иллюстрируется примерами численного компьютерного моделирования долгосрочной агрогенной динамики органического углерода на уровне почвенного профиля основных типов черноземов бывшего СССР, а также потенциальной агрогенной индукции режимов с колебательной (хаотичной) динамикой фитопродуктивности при искусственной акселерации урожайности удобрениями почвы. Поднимаются дискуссионные вопросы о соотношении продуктивности и устойчивости динамических биокосных систем и о потенциальных пределах углеродной секвестрации в почвах под различными типами растительности (леса, степи, пашни) в связи с кинетикой процессов трансформации и распределения органического углерода. Завершающая часть доклада представляет инновационные разработки авторского коллектива в рамках междисциплинарного проекта РФФ 23-64-10002 «Интеллектуальный почвенный дизайн и композитные материалы для лесоразведения с регулируемой карбоновой секвестрацией» включающие 2/3D компьютерное моделирование энергомассобмена в распределенной системе «почва-растение-атмосфера» с целью улучшения ее водного режима, корневого водопотребления и продуктивности, снижения газовых С-эмиссий и оптимизации С-депонирующей функции.

УДК 631.4

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСНОВНОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ ДЛЯ ВСЕГО ДИАПАЗОНА ВЛАЖНОСТИ

Смагин А.В.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, smagin@list.ru;

Значение основной гидрофизической характеристики почв (ОГХ), как функциональной связи между работой по извлечению воды из почвы – термодинамическим потенциалом почвенной влаги и ее содержанием в почве, трудно переоценить. Она востребована в качестве

информационного обеспечения практически всех компьютерных софтов для моделирования энергомассообмена в распределенных пористых средах почв и грунтов, использующих классический термодинамический подход Лоренцо Ричардса. Другая область применения ОГХ это оценка физического состояния (физического качества) почвы, активно развиваемая российской гидрофизической школой А.Д. Воронина. Несмотря на значимость ОГХ и большое количество работ по их математическому моделированию, практически все известные здесь модели (порядка 100) представлены классом эмпирических уравнений или педотрансферных функций, связывающих коэффициенты (параметры) таких эмпирических уравнений со свойствами почвы. Разновидностью такого эмпирического подхода на современном уровне можно считать модели «искусственного интеллекта», например, на основе нейронных сетей. Реже используются физико-статистические расчеты ОГХ с использованием доминирующей в гидрофизике капиллярной модели водоудерживания (уравнение Жюрена) и ряда допущений, например, о логнормальном распределении пор (подход Косуги-Терлеева), фрактальном характере порового пространства и тд. Физически обоснованных (фундаментальных) моделей ОГХ, за исключением известных моделей ленгмюровской школы (БЭТ, ГАБ, Фаррера, МБЭТ и тд) для прототипа их сорбционного участка в виде изотерм сорбции паров воды почвами, ранней (1964 г) попытки проф. Судницына связать линейный в полулогорифмических координатах участок ОГХ с гидратацией катионов, или аналогичных более поздних попыток Злочевской и Березина с соавторами (80-90 годы прошлого века) с использованием осмотической теории набухания, практически нет. В среде гидрофизиков нередко можно услышать мнение о невозможности такого фундаментального описания всей ОГХ, а значит, и о нецелесообразности научного поиска в этом. Наши исследования, начиная с пионерной работы 2003 г. «Теория и методы оценки физического состояния почв», опровергают это мнение, основываясь на теории расклинивающего давления воды в дисперсных системах по Дерягину и теории агрегативной устойчивости ДЛФО применительно к дисперсности почвы. Доклад обобщает эти разработки в форме новой полностью физически-обоснованной модели ОГХ, сочетающей физические механизмы капиллярности и расклинивающего давления в виде соответствующих слагаемых общего уравнения ОГХ, оперирующего переменными термодинамического потенциала воды, ее массовой доли в почве, параметрами дисперсности (удельной поверхности), дебаевской эффективной толщины ДЭС, связанной с показателями жидкой фазы (концентрация, заряд электролита), и рядом фундаментальных физических констант. Приведены результаты оценки адекватности новой модели экспериментальным данным почв разного генезиса и дисперсности для всего диапазона влажности (от условного нуля до полной влагоемкости) в сравнении со стандартной моделью ван-Генухтена. Даны аналитические решения для распределений пор по размерам и сингулярных точек новой модели, ассоциирующихся со сменой физических механизмов водоудерживания и форм почвенной влаги. Обоснован альтернативный теории БЭТ метод оценки дисперсности (удельной поверхности) по новой модели, выгодно отличающийся температурной инвариантностью. Применимость для всего диапазона варьирования влажности и фундаментальный характер модели делают ее перспективной как для использования в компьютерном моделировании энергомассообмена, так и для оценки динамики физического качества почвы под воздействием ранее не учитываемых свойств ее жидкой фазы.

УДК 631.433.3 + 504.05 + 574.474

ДИНАМИКА ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОСЛЕ СОКРАЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург,

ivan.a.smorkalov@gmail.com

Из-за высокой пространственной и временной вариабельности дыхания почвы, прямое сравнение данных, полученных не одновременно на отдаленных друг от друга участках, затруднительно. В случае использования камерных методов измерения эмиссии углекислого газа, остроту проблемы частично можно уменьшить за счет увеличения количества пространственных повторностей при минимизации разницы во времени измерений между участками. Однако это не помогает при анализе материалов по межгодовой динамике, в частности при рассмотрении вопроса, влияет ли сокращение промышленных выбросов металлургических предприятий на дыхание почвы. Причина этого заключается в том, что измерения проводят на достаточно протяженных (более 30 км) градиентах загрязнения, разные части которых как в один и тот же тур измерений, так и тем более в разные годы могут существенно различаться по температуре и влажности почвы. Для решения этой задачи необходимо «привести» показатели дыхания почвы к неким «стандартным» условиям, т.е. одинаковым для всех участков градиента и всех лет исследования. Это можно реализовать с помощью математического моделирования.

Материалом для работы послужили многолетние данные по эмиссии углекислого газа с поверхности почвы, измеренной камерным методом, в лесах в двух районах с сильным атмосферным загрязнением (сернистый ангидрид и тяжелые металлы) – вблизи Среднеуральского (г. Ревда) и Карабашского (г. Карабаш) медеплавильных заводов. После 2010 года оба завода сильно сократили выбросы.

Возле заводов было выбрано по 10 участков, удаленных от предприятия на 1–33 км, на каждом участке было заложено по три постоянные пробные площади размером 25×25 м. На каждой пробной площади за один тур проводили 5–15 измерений дыхания почвы. Работы проводили в середине вегетационных сезонов 2010–2013, 2018 и 2023 гг., а также осенью 2011, 2012, 2013 и 2018 гг. Кроме того, на отдельных участках градиентов измерения проводили в 2020–2022 гг. Всего было выполнено 6315 измерений дыхания на 60 пробных площадях. Анализ данных проведен в среде R. Для выбора предикторов использовали пакет Boruta. Моделирование провели с помощью алгоритма Random Forest. С помощью построенной модели рассчитывали дыхание почвы на конкретном участке при температуре почвы в диапазоне 5–25 °С с шагом 5 °С и влажности почвы 0.4–0.6 м³/м³ с шагом 0.05 м³/м³. Для определения температуры почвы, при которой разница между загрязненными и фоновыми участками максимальной, а также для сравнения этой разницы между периодами восстановления после сокращения выбросов (в 2013, 2018 и 2023 гг.), использовали отношение откликов. Статистической единицей во всех случаях было среднее значение дыхания почвы на пробную площадь.

Полученная модель (зависимость дыхания от года, района, расстояния до завода, температуры почвы, влажности почвы) имела очень высокий коэффициент детерминации (0.96) и низкую среднюю ошибку (MSE=0.34 мкмоль СО₂/м²с). Разница дыхания почвы между загрязненными и фоновыми участками была максимальной при температуре почвы выше 15 °С. Отношение откликов при стандартных условиях (>15 °С, 0.4–0.6 м³/м³) между загрязненными и фоновыми участками во все годы было отрицательным (т.е. загрязнение снижало дыхание), но различия между годами были статистически незначимы (хотя на уровне тенденции эффект загрязнения снижался от 2013 г. к 2023 г. в обоих районах). Основанный на сырых (т.е. не стандартизированных по температуре и влажности) данных расчет эффекта загрязнения демонстрировал выраженную восстановительную динамику дыхания, что может быть следствием искажающего влияния межгодовых различий температуры.

УДК 911.52

УЧЕНИЕ СТАРОЖИЛОВА О НООЛАНДШАФТОСФЕРЕ – ЛОКАЛЬНЫЙ, РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ГЛОБАЛЬНЫЙ ФУНДАМЕНТ ПРАКТИК ОСВОЕНИЯ И РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ РОССИИ И ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ

В.Т. Старожилов

Дальневосточный федеральный университет. Владивосток. Россия, Starozhilov.vt@dvfu.ru

Работа это продолжение авторских разработок «Ландшафтопользование России», «Нооландшафтосфера», «Природа без границ: нооландшафтосфера и парадигма ландшафтопользование», «Природа без границ: нооландшафтосфера», «Учение Старожилова о нооландшафтосферы планеты Земля», «Нооландшафтосфера – фундамент практик земледелия планеты Земля», «Нооландшафтосфера приоритетная основа развития почвоведения» и других. Они представляют фундаментальные разработки по-новому в России и мире научно-прикладному направлению по моделям природы (ландшафтам) как фундамента практик отраслевого и комплексного освоения, экологии, почвоведения планеты Земля и развития в целом любых инновационных технологий и в том числе почвоведения, сельского хозяйства и других. При этом под ландшафтом понимается природное тело, имеющие высотную (верхнюю), глубинную (нижнюю) и горизонтальную (площадную) границы, с внутренним содержанием взаимосвязанных, взаимообусловленных и взаимопроникающих друг в друга компонентов (вещественные комплексы литосферы, тектоника, рельеф, климат, воды, почвы, растительность, биоценозы) с дифференциацией, подчиняющейся высотной и широтной зональности, и организованных ответственными за них орогеническим, орографическим, климатическим, фиторастительным биогенным факторами в определенных зональных и азональных условиях в каждый момент своего существования.

Все отмеченные выше работы представляют собой разработки ландшафтно -прикладного направления и нацелены на выполнение государственных задач по освоению, развитию любых инновационных технологий почвоведения и созданию благоприятной экологии для существования цивилизаций планеты Земля. Работа связана с усилением освоения России и особенно с планами развития и освоения её восточных регионов. Планы сегодняшнего дня потребовали от науки, практики и образования новых современных подходов, новых технологий и компетенций в решении задач практик освоения. Отмеченное определило разработки Тихоокеанского международного ландшафтного центра и зав. кафедрой почвоведения Дальневосточного федерального университета профессора В. Старожилова. В 2023 году были разработаны парадигма «Ландшафтопользование России», разработаны, сформулированы и выделены новая геологическая оболочка «Нооландшафтосфера», «Нооландшафтосфера – приоритетная основа развития инновационных технологий почвоведения». Они как фундаментальные направления знаний определили обобщение материалов (не только теоретических, но и экспедиционных производственных исследований, более 30 полевых сезонов) и разработку на основе знаний о них учения о нооландшафтосфере как фундамента практик освоения и в том числе почвоведения планеты Земля. Оно получило название «Учение Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля», а по содержанию представляет учение о фундаменте практик освоения и развития инновационных технологий почвоведения планеты Земля.

Цель публикации – доложить и обсудить важность выделения нооландшафтосферы и учения о ней как фундамента практик освоения и развития инновационных технологий почвоведения планеты Земля, использовать знания о ней на практике как глобальную классификационную геологическую сферу и применять её на практиках науки, образовании и производства. Модели нооландшафтосферы нами представляются фундаментом для построения гармонизированных с природой (ландшафтами) любых моделей инновационного развития любых технологий освоения (экологических, почвенных, сельскохозяйственных, землепользовательских экономических, социальных, политических, биологических и других), а также пространственного развития России и планеты Земля.

По результатам разработок формулируется, что любое освоение любой ландшафтной территории затрагивает прежде всего ландшафтные условия. Ландшафты в целом основа

того, что ландшафтные условия представляют собой базовые основы - природный «фундамент» как отраслевого и в том числе почвоведения, так и комплексного освоения и в целом пространственного развития территорий. Именно ландшафт является первоначальными объектами, фокусом хозяйственной деятельности и основой для гармонизированного с природой построения моделей освоения. И прежде, чем перейти к построению моделей комплексного и отраслевого освоения территорий, проектировщики должны иметь материалы по природным основам освоения (ландшафтным телам) и только после их индикации, анализа и синтеза, оценки, а также выделения ландшафтных узловых структур освоения, проводить работы по проектированию, планированию объектов освоения и решения проблем инновационного развития почвоведения и в целом развития территорий. То есть первоначальным объектом внимания являются природные тела (ландшафты). Они вовлекаются уже на первоначальном этапе планирования и решения проблем отраслевого и комплексного освоения, и оно зависит от результатов оценки возможностей вовлечения ландшафтов в проектирование.

В целом выбор ландшафтных параметров освоения и решения отраслевых проблем, создание ландшафтного «фундамента» пространственной организации, обеспечивающей достижение заявленных целей пространственного развития, представляют особую самостоятельную парадигму России, и она в учении о ноо-ландшафтосфере названа «ландшафтопользование России».

В «учении Старожилова о ноо-ландшафтосфере планеты Земля» парадигма ландшафтопользование России представляет собой особую научно – прикладную парадигму деятельности в освоении и решении отраслевых проблем и формулируется как *создание* ландшафтного «фундамента» пространственной организации, обеспечивающей достижение заявленных целей пространственного развития с узловыми ландшафтными структурами освоения, выступающих источником изменений и размещения конкурентноспособных технологий, предприятий и компаний, направленного на рациональное освоение и использование территорий, минимизацию глобальных и региональных последствий изменения природы и общества, поиск и внедрение инновационных подходов в устойчивом, экологически сбалансированном и безопасном развитии территорий.

В свою очередь парадигма «ландшафтопользование России» создает сформулированную и выделенную Дальневосточной ландшафтной школой Старожилова новую геологическую оболочку - ноо-ландшафтосферу. Она представляет собой ландшафтный «фундамент» пространственной организации, обеспечивающей достижение заявленных целей пространственного развития с узловыми ландшафтными структурами освоения, выступающих источником изменений и размещения конкурентноспособных технологий, предприятий и компаний. В свою очередь, ноо-ландшафтосфера рассматривается как основа для построения научных и практик-моделей решения проблем отраслевого, почвенного и комплексного освоения и пространственного развития территорий. Формулируются и рассматриваются знания по применению парадигмы ландшафтопользование России и ноо-ландшафтосферы как фундамента практик освоения и решения проблем инновационного развития технологий почвоведения территорий России и планеты Земля.

В итоге в Дальневосточном федеральном университете в результате изучения природы (ландшафтов) разработаны парадигма «ландшафтопользование России», выделена «ноо-ландшафтосфера» и разрабатывается «учение Старожилова о ноо-ландшафтосфере планеты Земля». Они представляют локальный, региональный и глобальный уровни исследований природы (ландшафтов). Ранее в мире и России не выделялись и не рассматривались. По нашему мнению, в результате исследований сформулирована глобальная сфера и выделен категорически важный фундамент практик освоения не только России, но и планеты Земля. По большому счету выделенная сфера как глобальный фундамент практик комплексного и отраслевого освоения позволит человечеству обобщить и обобщать накопленный статистический материал по освоению сферы не только отдельных

стран, например России, но и цивилизаций в целом. Это в свою очередь даст возможность увидеть трансформации ландшафтов на уровне такого внутреннего их содержания, как вещественные комплексы литосферы, тектоники, рельефа, климата, вод, почв, растительности и биоценозов, на государственных уровнях, наметить экологически достойные пути освоения территорий и уже сегодня принять меры по путям сохранения уже сегодня трансформируемого фундамента практик освоения и решения проблем инновационного развития технологий почвоведения планеты Земля – нооландшафтосферы.

УДК 631. 4

ПЛОДОРДИЕ ПОЧВЫ – ЕСТЕСТВЕННОЕ СЛЕДСТВИЕ ЭНЕРГОИНФОРМАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ЕДИНСТВА ПОЧВЫ

Стенина Н.Г.

НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск, stenina@yandex.ru

Почва – среда, в которой рождается жизнь. Причиной этого уникального свойства почвы, согласно В.В. Докучаеву, В.И. Вернадскому, их многочисленных последователей, является неразрывное единство ее минеральной (неорганической) и живой (биоорганической) составляющих. К.К. Гедройцем экспериментально была установлена единая органоминеральная частица, обладающая ионно- (катионно-) обменной способностью, названная им ППК (почвенно-поглощающий комплекс). Вода, при этом, является его неотъемлемой составляющей.

Таким образом, из факта биоминерального единства, объективным подтверждением которого является феномен почвы, прямо следует существование некоей водно-минеральной частицы, ответственной за эволюцию минерального вещества пород, т.е. неформального аналога ДНК в рамках единой Земной материи.

Такая частица, аква-комплекс, была установлена в результате исследования природных минералов ПЭМ (просвечивающей электронной микроскопией) в комплексе с другими физико-химическими методами.

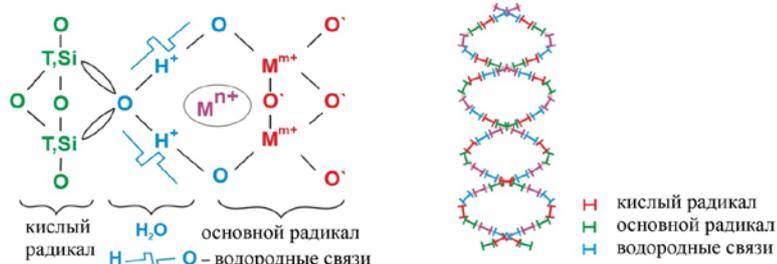


Рисунок 1. Кристаллохимическая

модель аква-комплекса и схема ДНК

Аква-комплекс, представляющий собой универсальную кристаллохимическую ячейку, из которой могут быть получены все, без исключения, минералы, обладает рядом фундаментальных свойств. Благодаря им происходит процесс структурно-химического преобразования, т.е. эволюция, минерального вещества пород.

При этом, аква-комплекс является неформальным аналогом ДНК. Это следует из того, что обе частицы имеют Ox/Red (термин – Redox) структуру, в которой кислые (Ox) и основные (Red) радикалы связаны в единое целое через водородные связи (Рис.1).

Водородные связи являются химическим выражением Redox'a. Объективно верно его следует определить как инверсию окислительно-восстановительного потенциала минеральной системы. Аква-комплекс, ее универсальный структурный блок, в точке Redox'a, распадается на составляющие части. В результате этого вода переходит из структурно-химически связанной в свободную форму. Данный механизм отвечает за появление воды на Земле: соленой (океан), пресной (Байкал, реки), минеральной (источники).

Redox обладает энергоинформационным потенциалом и имеет синергетическую природу. Первое следует из необычных свойств воды. Молекула воды – диполь, точнее – заряженный тетраэдр. Благодаря этому жидкая вода содержит кластеры, которые непрерывно перестраиваются. Интерпретация поведения жидкой воды с позиций теории растворов, гетерогенного катализа, информатики обосновывает энергоинформационный потенциал воды.

Синергетическая природа Redox'a доказывается всем комплексом природных данных. Таким образом, аква-комплекс как недостающее звено в объяснении органоминерального единства указывает на энергоинформационную природу Redox'a как причины плодородия почвы.

УДК.631.43

АГРОФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ НИЗОВЬЕВ АМУДАРЬИ И НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ИХ УЛУЧШЕНИЯ

Султашова О.Г. Курвантаев Р

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус

Аннотация. В статье рассмотрены агрофизическое состояние почв низовьев Амударьи и приведены некоторые результаты полевых исследований.

Ключевые слова. Агрофизика, почва, деградация, эрозия, засоления, загрязнения, плодородия почв, орошаемые, гидроморфные

На сегодняшний день в мире около 33% земельных ресурсов подвержены деградации вследствие эрозии, уплотнения и засоления, недостатка органических и питательных веществ, загрязнения и других процессов. Рост численности населения в последующие 35 лет потребовало увеличения производства продуктов питания примерно на 60%. Поэтому разработка научно обоснованных мероприятий по улучшению агрофизических свойств, предотвращению уплотнения и повышению плодородия орошаемых почв Каракалпакстана являются одной из актуальных задач.

В мире проводятся научные исследования, по ряду приоритетных направлений, таких как, дальнейшее развитие сельского хозяйства, сохранение, воспроизводство, повышение плодородия почв, эффективное использование земельных ресурсов, оптимизация экологического состояния, оценка водно-физических, технологических свойств и мелиоративного состояния почв. В этом плане уделяется особое внимание разработке агротехнических, агрофизических мероприятий с учетом почвенно-климатических условий, широкому использованию достижений науки и практики по восстановлению, сохранению и повышению почвенного плодородия. В республике проводятся широкомасштабные мероприятия, а также научные исследования и получены определённые результаты по оптимизации агрофизических свойств почв путём внедрения ресурсосберегающих технологий при эффективном и рациональном использовании орошаемых почв, повышению их плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

Целью исследования является разработка рекомендаций по улучшению агрофизического состояния почв путем определения современного состояния водно-физических, физико-механических свойств гидроморфных почв, распространенных в различных регионах Каракалпакстана.

Задачи исследования являются следующие:

определение влияния засоления и механического состава орошаемых гидроморфных почв на водно-физические свойства территории; выделение гидромодульных групп на основе механического состава и влагоемкости орошаемых гидроморфных почв; анализ взаимосвязи технологических свойств орошаемых гидроморфных почв с их механическим составом и водно-физическими свойствами; определение изменений режима влажности,

водопроницаемости и мелиоративного состояния в слоях почв под влиянием орошения; разработка рекомендаций по повышению плодородия почв с учетом современного состояния их агрофизических свойств.

Разработаны мероприятия по минимальной обработке, глубокому рыхлению, орошению на основе предложенного гидромодульного районирования и проведению дифференцированных агротехнических мероприятий по предотвращению таких негативных процессов, происходящих в орошаемых гидроморфных почвах под воздействием антропогенных факторов, как засоление, повышение плотности и твердости почвы, нарушение структурного состояния, недостаток влаги.

Основными задачами проведенных полевых исследований были: рекогносцировка местности, описание растительности и почв, выбор участка в соответствии с требованиями для полевых испытаний с инновационными почвенными мелиорантами, отбор образцов почвы для проведения лабораторных анализов и уточнения физико-химических свойств. В ходе полевого выезда было изучено 8 участков: 2 на обсохшей части Аральского моря и 6 в дельте реки Амударьи. На бывшем дне Аральского моря были исследованы точки под кустом карабарака и сообществом с фитогенными буграми тамарикса. В дельте реки Амударьи были исследованы участки Шортанбай, Карабуга, Койбак, Элликкала, на территории Международного инновационного центра Приаралья (МИЦП) и на территории Академии Наук Республики Узбекистан (около г. Муйнак).

В дельте реки Амударьи формируются почвы из слоистых аллювиальных отложений различного гранулометрического состава, в зависимости от которого меняется степень увлажнения, засоление профиля и растительность. На обсохшей части Аральского моря формируется слабо-дифференцированный почвенный покров, в первую очередь обусловленный количеством эолового материала песчаной фракции, нанесенного поверх средне- и тяжелосуглинистых слоистых отложений Арала. Нанесенные песчаные отложения не подвержены вторичному засолению, в отличие от суглинистых слоёв, обладающих сильным капиллярным подъёмом минерализованных грунтовых вод.

УДК 631.41

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Сухарев А.И.¹, Тарасенко Д.А.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, suharevai@my.msu.ru

²МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, ushkova_dasha@mail.ru

В настоящее время большинство представлений в физике почв базируется на трехфазной модели (далее — ТМП), основанной на существовании в почвах трех агрегатных состояний: твердого (минеральные и органические частицы), жидкого (почвенный раствор) и газового (почвенный воздух).

В последние десятилетия для объяснения полученных результатов стали активно привлекать гелевую модель почв (далее — ГМП), которая основана на том, что почвенные частицы являются сложными образованиями и состоят из более мелких частиц, покрытых и связанных между собой почвенными гелями, основой которых являются надмолекулярные образования (кластеры), состоящие из гуминовых веществ (ГВ).

Целью настоящей работы является анализ физических свойств почв с позиции гелевой модели.

Предлагается вначале рассмотреть некоторые наблюдаемые для почв явления с позиций ТМП.

Для дисперсных систем известно явление реопексии. Оно заключается в увеличении динамической вязкости при росте напряжений сдвига. Однако единого общепринятого объяснения реопексии нет. Будучи характерной и для почв, реопексия в них проявляется в

увеличении вязкости почвенных паст при увеличении степени механического воздействия на эти пасты. С точки зрения ТМП объяснить реопексию для почв достаточно трудно.

Можно объяснить явление реопексии для почв с помощью ГМП. Полученные данные свидетельствуют, что при росте числа оборотов размер частиц в пасте не падает, а растёт. По всей видимости, это обусловлено разрушением гелей на поверхности почвенных частиц с отделением от них кластеров гуминовых веществ и последующим формированием новых фрагментов гелей в пасте. Фрагменты гелей включают в свой состав воду, уменьшая количество кинетически свободной воды, тем самым увеличивая вязкость паст. Таким образом, объяснение с позиций гелевой модели почв выглядит вполне логичным.

Следующий пример касается одной из почвенно-гидрологических констант — влажности разрыва капилляров (ВРК). Как известно, физический смысл ВРК с позиций ТМП заключается в разрыве сплошного гидродинамического каркаса в почве, что приводит к резкому снижению подвижности воды. Нарушение сплошности означает, что удельная электропроводность почвенных образцов при достижении ВРК должна скачкообразно меняться, поскольку происходит разрыв проводящей среды. Однако эксперименты этого не подтверждают.

Объяснить отсутствие скачка электропроводности при достижении ВРК можно, если принять, что часть воды в капиллярах теряет подвижность, но не электропроводность. Единственным объяснением этому является существование части воды в почвах в составе малоподвижного геля, который выстилает собой поверхность капилляров. Нарушение сплошности водного каркаса ведёт к прекращению протекания тока по воде капилляров, однако сохраняется возможность его прохождения по воде в гелях. Поэтому скачка при достижении ВРК не наблюдается.

В качестве ещё одного примера рассмотрим процесс взаимодействия воды с почвой. С точки зрения термодинамики самопроизвольно вода может переходить из одной фазы в другую тогда, когда химический потенциал воды в одной фазе выше, чем в другой.

Исходя из приведённого выше совершенно логично предположить, что образец влажной (0,7-0,8 НВ) почвы, помещённый в эксикатор с чистой водой, перестанет поглощать влагу, когда уравниваются потенциалы воды в жидкой фазе почвы и в воздухе внутри эксикатора. Однако было экспериментально установлено (рис. 1), что почвенные образцы влажностью 0,7-0,8 НВ, вопреки термодинамическим представлениям, не поглощают влагу из паровой фазы эксикатора, а сохнут. В качестве примера приведены данные, полученные нами для чернозёма. С точки зрения трёхфазной модели объяснить причины данного неравновесного процесса не представляется возможным.

Объяснить потерю влажными почвами воды при их нахождении в эксикаторе с водой с позиций термодинамики можно, только если принять образование гидрофобной поверхности почвенных частиц при испарении из них воды. В основе механизма данного явления лежит амфифильность частиц-молекул ГВ, показанная в исследованиях. По представлениям, основанных на термодинамике, можно говорить о том, что при достаточно высоких влажностях дифильные частицы-молекулы ориентированы друг к другу гидрофобными участками, а на поверхность, т. е. на контакт с водой, выходят их гидрофильные участки. При снижении влажности ниже критического значения ситуация меняется на противоположную, так как капилляры оказываются заполнены не водой, а воздухом, в силу чего становится более термодинамически выгодно, чтобы частицы-молекулы контактировали через гидрофильные участки, а к поверхности были ориентированы гидрофобными участками. Таким образом, одновременно с тем, что вода покидает участок геля, в нём происходит структурная перестройка, ведущая к гидрофобизации поверхности почвенной частицы. В свою очередь, обратному процессу — попаданию воды в гель из паровой фазы как раз препятствует образованная гидрофобная поверхность. Это и обуславливает потерю влаги почвой в эксикаторе.

Таким образом, показано, что аспекты, которые не представляется возможным объяснить с позиций ГМП, объяснимы с точки зрения ГМП.

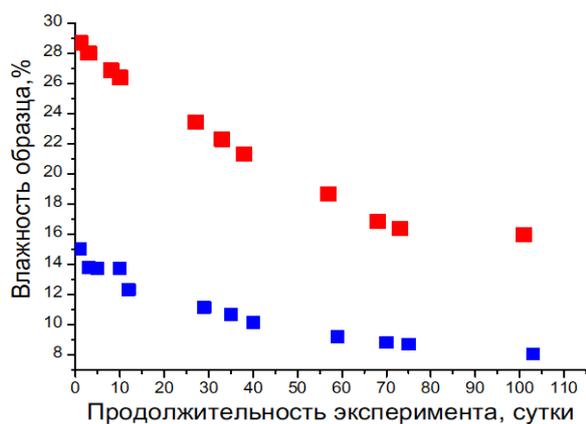


Рисунок 1. Зависимость влажности почв от времени выдерживания в эксикаторе с водой

УДК 631.412

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И МОДЕЛЬНЫХ ПОЧВ ГОРОДА МОСКВЫ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОПОСАДКИ И ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЧВЕННОГО СТАЦИОНАРА МГУ В МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТЕ

Тазиева А.О.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, taxievaao@gmail.com

В XX-XXI веке градостроительство наращивает свои темпы, что приводит к распространению урбанизированных экосистем. Они отличаются от естественных биогеоценозов целым рядом свойств, что делает изучение динамики развития искусственных экосистем актуальным вопросом. В экосистемах городов особое место занимают почвенный и растительный покровы в связи с тем, что они испытывают мощное техногенное воздействие, с одной стороны, а с другой, являются искусственно созданными человеком. Среди антропогенных конструкций особый интерес представляют искусственные почвы и зеленые зоны.

Жители мегаполисов, таких как Москва, испытывают трудности с доступом к природе, что отрицательно влияет на общее состояние здоровья населения. Один из способов решения этой проблемы - сохранение и создание зеленых зон в городах. В различных странах проводятся масштабные проекты по озеленению городских территорий для улучшения условий жизни горожан. Зеленые насаждения и другие природные решения предлагают инновационные подходы к улучшению городской среды, повышению устойчивости экосистем и содействию благосостоянию людей. Парки и растительность в общественных пространствах способствуют контакту горожан с природой, повышению комфорта и качества жизни в городах. Исследования по выявлению наиболее устойчивых древесных пород для городских условий помогут улучшить процесс озеленения Москвы в будущем. Особенно мало исследований на данный момент посвящено взаимосвязи древесных насаждений и почвенных насыпных конструкций. Влия друг на друга, они способны закономерно улучшать или ухудшать качество зеленых зон. На территории МГУ имени М.В. Ломоносова расположен целый ряд уникальных почвенных объектов с точно заданным началом времен их функционирования и информацией о свойствах использованных почвенных субстратов при формировании почвенного покрова. Искусственные почвы лесополосы и больших лизиметров Почвенного стационара МГУ создавались в 1961 году, и нам известны их начальные характеристики. Изучены некоторые физические и химические

свойства почвенного покрова почвенного стационара МГУ им. М. В. Ломоносова. Благодаря этому становится возможным проследить эволюцию насыпных конструкций за 60 лет. Кроме того, в нашей работе продолжен мониторинг состава и состояния деревьев искусственной лесополосы, высаженной в 1963 году.

В рамках исследования были выполнены следующие работы: съемка лесополосы, измерение диаметра стволов деревьев и анализ их состояния осенью 2023 года. В то же время были взяты образцы почв согласно данным о расположении точек отбора проб в предыдущие годы исследований. Для анализа образцов использовались традиционные методы физики почв, такие как пикнометрический метод определения плотности твердой фазы, метод пипетки Качинского-Робинсона-Кёхеля и лазерная дифрактометрия для определения гранулометрического состава почв. Помимо этого, содержание углерода было измерено методом сухого сжигания.

Исследование включает рассмотрение процесса трансформации искусственных почв в городах, созданных на основе различных субстратов и грунтов, в течение длительного времени, а также анализирует устойчивость одновозрастных лесных насаждений. По результатам работы были сделаны выводы о благоприятном влиянии снижения антропогенной нагрузки на физико-химические свойства почв лизиметров. Наблюдается разуплотнение, увеличение значений порозности и содержания органического вещества. Также техногенное воздействие, а именно возросшая рекреационная нагрузка на лесополосу Почвенного стационара МГУ, привело к ухудшению качественного состояния деревьев: суховершины, сухобочины, механические повреждения стволов. Анализ числа сохранившихся деревьев показал, что наибольшей устойчивостью обладает береза, а наименьшей – дуб. К 2023 году произошло выпадение около 36% деревьев. В многолетнем аспекте прослеживается влияние характера древесной растительности на почвенный покров в увеличении содержания углерода в верхнем горизонте под елью.

УДК 631.43

ВОДОУСТОЙЧИВОСТЬ И ЭРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ПОЧВ: КОРРЕЛЯЦИЯ, МЕХАНИЗМЫ, ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ

Тарасенко Д.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, ushkova_dasha@mail.ru

Оструктуренность почв определяет ряд характеристик, благоприятных для возделывания на ней сельскохозяйственных растений. Согласно литературным данным, стабильная структура должна обладать устойчивостью к двум воздействиям: к действию воды и к действию внешних механических сил. Данные свойства являются определяющими для водоустойчивости почвенной структуры и эрозионной стойкости почв. Известно, что водоустойчивость зависит от органического вещества, его количества и качественного состава, что и обеспечивает существование почвенных агрегатов в нераздельном состоянии. Однако мнения о механизме формирования водоустойчивой структуры расходятся. Одни авторы полагают, что водоустойчивость обеспечивается за счет взаимодействий между гидрофобными участками молекул гуминовых веществ, обладающих амфифильной поверхностью. В противовес данной гипотезе выдвигается диаметрально противоположное мнение: водоустойчивость формируется за счет «склеивания» почвенных отдельных гидрофильными компонентами свежих слабо разложившихся органических остатков. Из-за отсутствия единых представлений о механизмах формирования водоустойчивости и эрозионной стойкости поиск полимерных составов для повышения данных параметров затруднен. Целью исследования являлось уточнение деталей механизма водоустойчивости почвенной структуры. В работе использовали образцы дерново-подзолистой, серой лесной почв и чернозема. Для оценки водоустойчивости почв был выбран метод «лезвий», основанный на рассечении близких к насыщению водой агрегатов размером 4.5 – 5 мм

лезвиями и определении предельного напряжения их разрушения. Была оценена корреляция значений, получаемых методом «лезвий» и классическим методом мокрого просеивания. Коэффициент корреляции составил 85%, что говорит о пригодности метода «лезвий» для использования при оценке водоустойчивости почвенной структуры. А. Р. Декстером было отмечено, что при контакте агрегатов с водой их водоустойчивость уменьшается. Для проверки этих экспериментальных данных решили, используя метод «лезвий», изменять время капиллярного контакта агрегатов с водой перед определением водоустойчивости. В результате было получено экспоненциальное снижение водоустойчивости агрегатов во времени. Следовательно, вода без механического воздействия каким-то образом оказывает влияние на водоустойчивость почвенной структуры. Было выдвинуто предположение о том, что снижение водоустойчивости во времени обусловлено расклинивающим давлением воды, которое, по литературным данным, является одним из основных факторов её снижения. В ходе проверки влияния расклинивающего давления воды на водоустойчивость на черноземе, серой лесной и дерново-подзолистой почвах было проведено определение данного показателя в воде и растворах солей разных концентраций. При существовании значимого влияния расклинивающего давления водоустойчивость образцов при таком определении должна была превышать водоустойчивость, измеренную в воде, однако различий мы не обнаружили. Это свидетельствовало о том, что расклинивающее действие воды значимо не влияет на водоустойчивость. Так как полученные результаты нельзя объяснить расклинивающим давлением воды, было выдвинуто предположение, что это может быть связано с выходом неких частиц, обеспечивающих водоустойчивость, из агрегатов в раствор. Для проверки данного предположения при помощи растровой электронной микроскопии (РЭМ) изучили воду, контактировавшую с агрегатами, которая могла содержать частицы, вышедшие из них. На полученных микрофотографиях отчетливо видны частицы сферической формы, выделившиеся из чернозема, дерново-подзолистой и серой лесной почв. На основе литературных данных, было выдвинуто предположение, что это надмолекулярные образования гуминовых веществ (ГВ), являющиеся основой почвенных гелей, существующие в виде фрактальных кластеров (Ф-кластеров). Таким образом, водоустойчивость почвенных образцов при контакте с водой снижается за счет выхода Ф-кластеров из частиц-молекул ГВ и, тем самым уменьшения количества внутриагрегатных связей. Для уточнения представлений о механизме водоустойчивости был проведено дополнительно несколько экспериментов по изучению влияния на неё температуры. Если именно гидрофобные связи обеспечивают прочность агрегатов, то при определении водоустойчивости при повышенных температурах она должна возрасть. В ходе эксперимента перед измерением водоустойчивости образец помещали под инфракрасную лампу для его нагревания или в холодильник для его охлаждения. В результате проведенных экспериментов было установлено, что для почв, не подвергавшихся высушиванию, наблюдается увеличение водоустойчивости агрегатов. Однако при остывании агрегатов данный показатель снижался до начальных значений. Эти результаты подтвердили предположение о том, что в основе механизма водоустойчивости почв, не подвергавшихся высушиванию, лежат взаимодействия между гидрофобными участками амфифильных молекул ГВ. При определении водоустойчивости воздушно-сухих агрегатов при повышенных температурах, данный показатель оставался неизменным, что позволяет предположить важную роль в них как гидрофобных, так и гидрофильных связей. Для объяснения влияния гидрофильных соединений на водоустойчивость было выдвинуто предположение о том, что для формирования стабильной структуры фрактальные кластеры из ГВ должны взаимодействовать между собой не через точечный гидрофобный контакт, а через множественные контакты данных участков, то есть их ветви должны взаимопроникать друг в друга. Такое взаимодействие возможно только при наличии гидрофильных участков с ионными атмосферами, выполняющими функцию протекторов. Они отталкивают ветви Ф-кластеров друг от друга, тем самым обеспечивая более глубокое взаимопроникновение этих

ветвей. В результате вместо одиночных гидрофобных контактов между Ф-кластерами возникают множественные гидрофобные контакты, значительно повышающие водоустойчивость.

Стоит отметить, что эрозионная стойкость как индикатор оструктуренности почв более востребована в практике, чем водоустойчивость. Однако метод оценки эрозионной стойкости почв, метод эрозионного гидроротка, очень трудоемок. Поэтому было решено проверить наличие корреляции между предельным напряжением разрушения, показателем водоустойчивости, и критической скоростью размыва, параметром эрозионной стойкости. Коэффициент составил 99%. Такой высокий коэффициент корреляции позволяет не только оценивать эрозионную стойкость методом «лезвий», но и позволяет предположить единство механизма формирования водоустойчивости и устойчивости почв к эрозии. В основе механизма водоустойчивости почвы лежат внутриагрегатные связи, а в основе формирования противоэрозионной устойчивости – межагрегатные. В совокупности с высокой корреляцией между данными параметрами это позволяет предположить единство механизма формирования внутриагрегатных и межагрегатных связей в почвенной структуре, при этом компонент почвы, за счет которого происходит формирование этих связей не установлен. В литературе предполагается, что таким компонентом, «мишенью» для взаимодействия с полимерами, являются глинистые минералы, но это противоречит покрытию их поверхности гелевым слоем. Чтобы это проверить с помощью лазерной дифрактометрии оценили размер частиц, формирующихся в растворах гуматов с полимерами разной степени гидрофобности. Результаты показали, что с увеличением гидрофобности полимера, происходит укрупнение частиц. Самые большие размеры частиц образуются в растворе гумата с поливиниловым спиртом (ПВС), самым гидрофобным полимером. Это позволяет предположить, что полимерные составы в почве взаимодействуют не с глинистыми минералами, а с органическим веществом почв, покрывающим их. Также была оценена водоустойчивость образцов почвы, обработанных теми же полимерами. Полученные результаты подтвердили гидрофобный механизм водоустойчивости и эрозионной стойкости.

УДК 631.43

О СОВРЕМЕННОМ ПОДХОДЕ В ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Толстыгин К.Д.¹ Герке.К.М.²

¹Почвенный институт имени В.В. Докучаева, kirill.tolstygin@yandex.ru;

²ИФЗ РАН, Москва k.gerke@digital-core.ru

Структура порового пространства почвы является одним из основополагающих факторов, определяющих строение почвы. Особенности порового пространства определяют перенос и запасание различных флюидов в почве, тем самым оказывая влияние на генезис и эволюцию почвы как природного тела.

Основной проблемой, связанной с изучением порового пространства почвы, является сама ее сущность. В силу того, что поры – нарушения сплошности некоторого тела – представляют собой по сути своей «ничего», «отсутствие материи», для его исследования необходимо формулировать отдельный концептуальный подход. С начала двадцатого века ученые-почвоведы предлагали конкретные концептуальные идеи и подходы для понимания и последующего изучения порового пространства. Одной из таких идей является представление порового пространства почвы как составляющей двух пористостей – внутриагрегатной и межагрегатной, которые выполняют удерживающую и транспортную функции соответственно. Помимо этого, широкую поддержку в свое время получила капиллярная модель, в которой поровое пространство представлялось в виде набора капиллярных трубок разного диаметра.

Все вышеописанные концепции в определенной степени хороши, однако обладают рядом недостатков. В данном исследовании приводится пример использования новой концептуальной модели – поросетевой модели, представляющей собой граф, вершинами которого являются поры, а ребрами – каналы, связывающие между собой эти поры. Ключевыми преимуществами этой модели является учет формы пор, их топологии (то есть расположения в пространстве), а также связности пор друг с другом. В работе освещены особенности выделения поросетевых моделей из 3D-изображений компьютерной томографии почв. Приводятся упоминания необходимых манипуляций с исходными данными для корректного выделения модели. Отображены детальные данные о получаемых их выделенных моделях характеристик порового пространства. Помимо прочего, данный тип моделей позволяет рассчитывать одно- и многофазную проницаемость почв. В данной работе освещены существующие исследования (выполненные в том числе и автором) по расчетам ненасыщенной гидравлической проводимости (коэффициента влагоропроводности) и построению кривой водоудерживания (основной гидрофизической характеристики) из поросетевых моделей, а также их сравнению с лабораторными исследованиями и применяемыми в почвоведении методами (уравнение ван Генухтена-Муалема). Ключевой вывод работы – по результатам сравнения результатов применения поросетевых моделей с широко применяемыми в почвоведении в целой и классической физике почв в частности методами, поросетевые модели имеют ряд неоспоримых преимуществ, а с развитием науки и техники (в частности – улучшением доступного разрешения при компьютерной томографии образцов), позволит нейтрализовать имеющиеся недостатки, отдельно освещенные в одном из разделов работы.

УДК 631.436; 631.445.124

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ ЮЖНОЙ ТАЙГИ
ЕВРО-СЕВЕРО-ВОСТОКА РФ

Уланов Н.А.^{1,2}

¹ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, Киров, e-mail: info@vgatu.ru;

²Кировская ЛОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», Кировская обл., п. Юбилейный, e-mail: bolotoagro50@mail.ru.

Согласно устоявшемуся в научной среде мнению, температурный режим торфяных почв является крайне неблагоприятным для роста и развития большинства сельскохозяйственных культур. Выработанные торфяники в этом отношении выглядят более предпочтительно, поскольку при мощности остаточного слоя торфа менее 30 см они по своим тепловым свойствам приближаются к минеральным почвам, а при мощности более 30 см – к торфяным. Цель исследования – изучить особенности формирования температурного режима почвы и приземного слоя воздуха выработанных торфяных болот на участках с различной мощностью остаточного слоя торфа, степенью осушения и режимом использования. Объектом исследований служит типичный для северо-востока европейской части низинный торфомассив «Гадовское», площадью около 3000 га. В период с 1936 г. по 1975 г. около 2000 га было выработано послойно-фрезерным способом и после ремонта осушительной сети передано под сельскохозяйственное производство. Водный режим на кормовых севооборотах регулируется с помощью системы шлюзов. На момент оценочных действий более 30% территории постболотного техногенного ландшафта занято лесной культурой естественного и искусственного происхождения. Наблюдение за температурой почвенного профиля осуществлялось с помощью термометров Савинова и вытяжных ртутных термометров до глубины 120 см, за температурой поверхности почвы и приземного слоя воздуха с помощью максимальных (ТМ-1) и минимальных (ТМ-2) термометров на специально оборудованных мониторинговых площадках. Наблюдения за температурой на

полностью сработанных участках кормового севооборота, занятых многолетними травами, показали, что при более глубоком осушении формируется более благоприятный температурный режим приземного слоя воздуха, чем при мелком осушении. Температура пахотного слоя в летний период также отличается в пользу более осушенных участков. Утепляющее действие грунтовых вод здесь отмечено только до августа и лишь в затапливаемой части профиля. На кормовом севообороте с торфяно-глеевой остаточной почвой ситуация выглядит иначе, поскольку в формировании температурного режима главная роль отводится мощности остаточного слоя торфа, чуть меньшей рельефу и наименьшая степень осушения. Проведенные замеры показали, что в летний период на участках со слоем остаточного торфа 40-60 см температура в пахотном горизонте в среднем на 4,5-6,0 °С ниже, чем на полностью сработанных участках. При такой мощности торфа даже более высокое положение в рельефе не спасает участок от появления на нем сверххранных радиационных заморозков, которые, кроме того, в 1,5-2,0 раза сильнее, чем на полностью сработанных западинах и микропонижениях. Однако, в отличие от полностью сработанных участков, утепляющее действие грунтовых вод на оторфованных участках прослеживалось не только в затапливаемой части, но и в пахотном слое. Причем, чем больше мощность остаточного слоя торфа и меньше степень осушения, тем сильнее проявлялся утепляющий эффект грунтовых вод, но лишь летом, как и на полностью сработанных участках. Температура в почвенном профиле торфянисто-глеевой почвы под пологом вторичных лесопосадок практически в течение всего года на 0,1-9,9 °С выше, чем в почвенном профиле торфянисто-глеевой почвы, занятой многолетними травами. Наибольшее преимущество отмечается в пахотном слое в конце июня-начале июля. Температурные минимумы на поверхности почвы в среднем за год на поле на 4,5 °С ниже, чем под лесопосадками, однако температурные максимумы на поле на 10,5 °С выше, поэтому срочная среднегодовая температура на поверхности почвы под лесопосадками на 5,8 °С ниже, чем на кормовом поле. Температура приземного слоя воздуха на высоте 50 см также отличается в пользу участка, расположенного на кормовом поле. Температурные минимумы здесь также, как и на поверхности почвы, на 4,5 °С ниже, чем под лесопосадками, однако, температурные максимумы имеют заметно меньшее преимущество и составляют всего 4,4 °С, по сравнению с лесопосадками, в результате чего срочная среднегодовая температура воздуха на высоте 50 см на участке под лесопосадками на 2,3 °С ниже, чем на кормовом поле. Таким образом, среднегодовая амплитуда колебания температур почвенного профиля и приземного слоя воздуха заметно ниже в условиях близкого залегания к поверхности грунтовых вод, а также на лесопокрытой территории.

УДК 631.43

ВОПРОСЫ ФИЗИКИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

Умарова А.Б.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, a.b.umarova@gmail.com

Городские территории являются одними из наиболее антропогенно-измененных и мозаичных по всему комплексу компонентов ландшафтов и на всех иерархических уровнях. Специфика почвенного покрова как одного из компонентов городского ландшафта заключается в усилении ожиданий от выполняемых почвой функций, главные из которых плодородие и депо для загрязняющих веществ.

С позиций физики почв одним из ключевых моментов урбанистической трансформации почвенного покрова наряду с изменением ее вещественного состава и появления множества антропогенных включений в профиле является наличие резких временных и пространственных границ, причем как в вертикальном, так и латеральном направлениях. Весь этот невероятный спектр постоянно меняющегося антропогенного воздействия ведет к сложности исследования городских почв начиная с момента выбора характеристичных мест

и времени пробоотбора. Отметим и многократно экспериментально исследованный нами факт изменения скоростей изменения свойств твердофазных компонентов почвенной системы, имеющий характер резкого возрастания интенсивности трансформации почвы после механического воздействия на нее и относительно быстрого перехода в область медленной стабилизации.

На кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ с начала 60-х годов прошлого века ведутся исследования целого ряда физических свойств и режимов искусственных почв территории МГУ (конструктоземов), а в последние годы еще и урбаноземов различных городов Европейской части России. Эти исследования позволили количественно подтвердить многие классические положения почвоведения и физики почв и одновременно сформулировать новые гипотезы, обуславливающие структурно-функциональную организацию городских почв, специфику и скорости трансформации конструктоземов.

На сегодняшний день является очевидным, что необходимы новые подходы к исследованию физических свойств и режимов почв городов, в том числе, (1) детальное обоснование мест и дат пробоотбора почвенных образцов на основе комплексного предварительного анализа как компонентов ландшафта, так и исторических и современных аспектов городской инфраструктуры; (2) необходимость разработки новых методов определения свойств почв и обработки экспериментальных данных с учетом сложности объекта; (3) разработка новых оценочных шкал и диапазонов оптимальности физических свойств городских почв на разных уровнях ее исследования; (4) учет выраженной слоистости и быстрой обновляемости почвенного профиля, особенно его верхней части, а также высокой значимости свойств его нижней границы, в том числе, при решении задач изучения функционирования и эволюции городских почв, построения системы мониторинга городской среды, использования методов математического моделирования для прогноза функционирования почв. В этом пункте важно отметить значимость исследований живых организмов: от микроорганизмов до высших растений при анализе гидротермических режимов почв; (5) важность выявления и ранжирования параметров почв, которые могут служить реперами неблагополучия почвенной среды, а во взаимосвязи с характеристиками сопредельных сред и городской среды в целом; (6) анализ почвенного покрова городской среды как единой системы, обладающей высокой неоднородностью, дискретностью, нарушенностью, прерывистостью, но осуществляющей все привычные для нее функции с сильным смещением в сторону антропогенного воздействия.

Стоит обратить внимание и на то, что городские почвы имеют весьма отчетливые междисциплинарные аспекты их анализа: это экономический аспект, вследствие высокой стоимости территории и сложности обеспечения высокого плодородия на озеленяемых участках, и социальный аспект, который представляет почвенный покров как фактор, обеспечивающий комфортность и здоровье городской среды.

УДК 631.43

СТРОЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В КОНТЕКСТЕ ГЕЛЕВОЙ МОДЕЛИ ПОЧВ

Федотов Г.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

При изучении водоустойчивости было обнаружено, что при капиллярном контакте почв с водой из них в воду выделяются сферические частицы размером несколько сот нанометров. Дальнейшие исследования показали, что подобные частицы переходят в воду из любых содержащих гумус объектов – почв, торфов, гуминовых кислот, гуматов, фульвокислот. Выполненный на растровом электронном микроскопе элементный микроанализ этих частиц, выделенных из дерново-подзолистой почвы, показал, что они состоят преимущественно из

органического вещества, а содержание алюминия и кремния в их составе – единицы процентов.

По-видимому, эти частицы представляют собой ранее неоднократно обнаруживаемые и описанные почвоведом надмолекулярные образования (НМО) из специфического органического вещества почв.

Из всей совокупности полученных к настоящему времени экспериментальных данных следует, что гуминовые вещества почв фрактально организованы. В почвах и в воде они существуют в виде фрактальных кластеров размером 100-200 нанометров (Ф-кластеров), образованных частицами-молекулами гуминовых веществ (ГВ) размером от единиц до 10 нм. Введение нами нового термина «частиц-молекул» связано с необходимостью обратить внимание не только на химическую структуру молекул (как это принято в настоящее время), а на весь комплекс их свойств – размер, форму и свойства межфазной поверхности образующихся частиц.

Следует отметить, что большее внимание в почвоведении уделяют изучению строения частиц-молекул ГВ, а не возникновению из них НМО. В настоящее время существует четыре подхода к объяснению строения ГВ. Первый из них, который был общепринят и остается в настоящее время доминирующим, основан на макромолекулярной теории ГВ. В ней все части большой молекулы связаны между собой прочными ковалентными связями.

Современная модель почвенного континуума отрицает существование прочных соединений ГВ в почвах, а основана на стабилизации продуктов распада органических молекул путем их закрепления путем взаимодействия с почвенными минералами. Примерно 30 лет назад появились супрамолекулярные комплементарные представления о строении ГВ, которые основаны на образовании больших молекул из простых молекул, образующихся при разложении опада. Эти молекулы, имеющие по несколько активных центров, могут взаимодействовать, если активные центры и их расположение на разных молекулах комплементарно друг другу – подходят как ключ к замку. В определенных условиях предполагается самоорганизация смеси простых молекул на основе многоцентровых связей с образованием больших молекул ГВ. Однако вероятность прохождения такого процесса путем перебора вариантов за реально реализуемы времена достаточно мала, поэтому была выдвинута более правдоподобная мицеллярная концепция образования ГВ. Она основана на термодинамическом эффекте – стремлении гидрофобных участков молекул органических веществ при нахождении в воде уменьшить площадь контакта с водой, так как подобный контакт приводит к потере подвижности молекул воды и снижению трансляционной энтропии системы. В результате гидрофобные молекулы взаимодействуют друг с другом. С этими гидрофобными образованиями взаимодействуют органические молекулы имеющие гидрофобные участки, используя последние как якорь при образовании частиц ГВ. Внешний слой образующихся частиц достраивается гидрофильными молекулами. Подобная модель хорошо отражает экспериментальные факты о строении ГВ – существование у частиц-молекул плотного ядра и более рыхлой периферии.

При рассмотрении существования ГВ в качестве НМО не имеет большого значения какую модель строения частиц-молекул ГВ использовать, так как во всех случаях их поверхность гидрофильна (гидрофильно-гидрофобна), а именно она определяет их взаимодействие между собой с образованием Ф-кластеров и НМО. Следует только отметить очень высокую устойчивость Ф-кластеров ГВ к распаду на частицы-молекулы. При концентрации ГВ в воде больше 30-50 мг/л они существуют только в виде Ф-кластеров. Это позволяет считать, что в почвах ГВ существуют и взаимодействуют только в виде Ф-кластеров и объясняет фрактальную организацию коллоидной составляющей почв.

Основываясь на размерах НМО, можно предположить, что выделяемые нами из содержащих гумус образцов частицы НМО представляют собой Ф-кластеры или объединения, образующиеся из нескольких Ф-кластеров, которые не обладают фрактальной организацией.

Накопленные к настоящему времени экспериментальные результаты позволяют сделать однозначный вывод о многоуровневой структурной организации коллоидной составляющей почв – органоминеральных почвенных гелей:

1. частицы-молекулы гуминовых веществ, объединяясь образуют Ф-кластеры;
2. при объединении Ф-кластеров между собой возникают НМО, а взаимодействие НМО с минеральными частицами приводит к возникновению фрагментов почвенных гелей;
3. фрагменты почвенных гелей оседают на поверхности крупных почвенных частицах, образуя гелевый слой, покрывающий и связывающий почвенные частицы между собой, образующий из разрозненных почвенных частиц новую систему – почву.

Подобная структурная организация почв делает необходимым рассматривать и объяснять свойства почв не с позиций широко используемой в почвоведении трехфазной физической модели, а с позиций гелевой модели почв. Некоторые свойства почв уже рассматривали с этих позиций, но для большинства почвенных свойств это еще предстоит сделать.

УДК 631.4

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕГО

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИ ПОСТАГРОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ

Филимоненко Е.А.¹, Арбузова Е.А.¹, Упорова М.А.¹, Самохина Н.П.¹, Курганова И.Н.², Лопес де Гереню В.О.², Соколова Л.Г.³, Зорина С.Ю.³, Дорофеев Н.В.³, Мальцева А.², Кузяков Я.В.⁴

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, eafilimonenko@mail.ru

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

³Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск

⁴Университет Геттингена, Геттинген

В настоящее время около 220 миллионов гектаров ранее пахотных земель являются залежами, при этом четверть из этих общемировых залежей находится в России. Для изучения влияния процесса конверсии пашни в залежь на органическое вещество почвы и запасы в нем энергии мы исследовали постагроденный хроноряд. Исследованный хроноряд, включающий пашню, залежи 7 и 25 лет и ненарушенный участок с луговой растительностью, расположен в лесостепной зоне Восточной Сибири. Зональные почвы на территории исследования представлены серыми среднесуглинистыми (Haplic Luvisol (Siltic)) и сформированы на аллювиально-делювиальных отложениях юрского периода. Почвы на участках всех типов землепользования были апробированы на четырех глубинах – 0-5, 5-10, 10-20 и 20-30 см. Методом денситометрического фракционирования в тяжелой жидкости (поливольфрамат натрия) почвенное органическое вещество (с глубины 0-10 см) было разделено на фракции свободного, окклюдированного и минерально-ассоциированного. Во всех валовых пробах почв и в выделенных денситометрических фракциях методом элементного анализа (сухое озоление) определяли содержание органического углерода и общего азота. Используя метод термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии, количественно оценивали пулы термически лабильного и стабильного почвенного органического вещества, содержание в них энергии и энергию активации их термического окисления, которая является маркером их стабильности. Скорость базального дыхания определяли по интенсивности выделения из почвы CO₂ при ее инкубировании при температуре 20 °С и увлажнении до 60% от водоудерживающей способности. Содержание углерода микробной биомассы определяли методом субстрат-индуцированного дыхания.

Растительная сукцессия, происходящая при забрасывании пашни, приводит к восстановлению свойств и функций почв. В результате постагроденного восстановления, почвы ежегодного аккумулировали 0,85 тС/га⁻¹ (0-30 см) в течение 25 лет. Такая скорость накопления углерода обеспечивает увеличение его запаса в залежных почвах в 1,5 раза по

сравнению с пахотными, а также увеличение запаса энергии в органическом веществе в 2 раза. В составе почвенного органического вещества преобладает термически лабильный пул (54-68%). Скорость накопления в верхних 30 см почвы термически лабильного пула в 2,8 раза больше, чем скорость аккумуляирования стабильно органического вещества. Стабильный пул почвенного органического вещества обладает более высокой энергией активации и при сгорании выделяет меньше тепловой энергии, что свидетельствует о меньшей потенциальной доступности содержащейся в нем энергии для почвенных микроорганизмов. Минерально-ассоциированное органическое вещество играет ключевую роль в накоплении углерода в стабильном пуле, при этом увеличение запаса углерода в составе фракции свободного органического вещества является основным источником энергии для почвенных микроорганизмов. Ускоренное накопление лабильного углерода и увеличение доступности энергии, а также повышение активности микроорганизмов стимулируют разложение стабильного почвенного органического вещества и высвобождение питательных веществ, что отражает более быстрый круговорот углерода и питательных веществ при постагрогенном восстановлении растительности. Разложение почвенного органического вещества происходит в основном в биохимически незащищенных фракциях – окклюдированном органическом веществе.

Сочетание факторов ускоренного накопления лабильного органического вещества и частичного разложения более стабильных пулов, увеличивает запас, но снижает стабильность почвенного органического вещества в залежных почвах по сравнению с пахотными. Таким образом, восстановление почв после прекращения их сельскохозяйственной обработки увеличивает запасы углерода и энергии в почве, что стимулирует микробный оборот углерода и потенциально ускоряет высвобождение CO_2 .

УДК 631.4

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КИНЕТИКА ДЕГИДРАТАЦИИ ПОЧВЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

Хайдапова Д.Д.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, dkhaydapova@yandex.ru

Влияние твердой фазы почв на физико-механические свойства проявляется тем сильнее, чем меньше размер частиц, в которых больше суммарная поверхность частиц, содержащихся в объеме системы. Основная часть твердой фазы почв представлена почвенными минералами. Минералы, образующие почвенные частицы, разделяются по происхождению на первичные и вторичные. Наиболее распространенными первичными минералами являются полевые шпаты, пироксен, слюды, кварц. Вторичные минералы разделяются на три группы: каолиниты, монтмориллониты и иллиты (гидроslюды). Особое влияние на свойства почв оказывают коллоидная фракция (<0.25 мкм), илистые частицы (0,25-1 мкм) и, в меньшей степени пылеватые частицы (1-10 мкм). Именно вторичные минералы соответствуют вышеперечисленному размерному ряду. В связи с этим, целью данной работы явились исследования реологического поведения почвенных минералов групп каолинита, монтмориллонита и песка в состоянии капиллярного увлажнения.

Реологические свойства минералов исследовали методом амплитудной развертки на реометре MCR-302 (Anton Paar, Austria). Измерительными системами являлись плато-плато диаметром 2,5 см. Испытуемый образец зажимается между двумя плато, верхнее плато оказывает колебательное воздействие на образец с расширяющейся амплитудой колебаний. Испытания проводили при контроле силы давления не более 5 Н верхнего плато на образец, и соблюдалось постоянство температуры 20°C. Минералы предварительно капиллярно насыщали дистиллированной водой в течение приблизительно 20 ч. В результате экспериментов получали кривые зависимости модулей упругости, вязкости и сопротивления сдвигу от приложенного напряжения. Для обсуждения полученных результатов использовали следующие характерные параметры: величина модуля упругости в диапазоне

линейного отрезка кривой, как характеристика прочности связей в ненарушенном состоянии; диапазон линейной вязкоупругости, как характеристика устойчивости межчастичных связей к прикладываемому напряжению; точка пересечения кривых модулей упругости и вязкости, как характеристика разрушения структурных связей; величина максимального сопротивления сдвигу. Влажность исследуемых минералов резко различалась, в соответствии с различными величинами удельных поверхностей, в песке она составляет 20 %, в каолините 80% и 140% в монтмориллоните. Модуль упругости в диапазоне упругого поведения в песке наибольший – 4937 кПа, в каолините - 223 кПа, в монтмориллоните -106 кПа. Большая величина модуля упругости в песке вероятно обусловлена незначительной величиной водопоглощения и частицы песка располагаются в тесном контакте друг с другом. Небольшие величины модуля упругости в каолините и монтмориллоните обусловлены большим количеством поглощенной влаги, которая служит барьером к межчастичному взаимодействию. Что касается сопротивления сдвигу, то наибольшая она в песке 62Па, в каолините 13Па, в монтмориллоните – 17Па. Диапазон упругого поведения (диапазон линейной вязкоупругости) в песке наименьший – 0,001% от прикладываемого напряжения, в каолините -0,006% и в монтмориллоните -0,016%. При дальнейшем повышении напряжения начинается уменьшение упругой составляющей. Точка пересечения модулей упругости и вязкости (Crossover), которая характеризует разрушение упругих связей в песке наступает при 0,1% прикладываемого напряжения, в каолините при 9,83%, в монтмориллоните при 5,29%. Диапазон реологического поведения от начала падения упругой составляющей до точки пересечения модулей упругости и вязкости характеризует диапазон пластичного поведения, когда существующие водные прослойки позволяют частицам смещаться относительно друг друга, без разрыва сплошности. Наименьшая данная величина в песке (0.1%) показывает почти полное отсутствие пластичных свойств. Наибольшую величину показал каолинит - 9,83%, монтмориллоните она - 5,29%. Казалось бы, что в соответствии с количеством поглощенной воды, эта величина должны была бы быть наибольшей в монтмориллоните. Возможно, такое различие в пластичном поведении обусловлено различным кристаллическим строением решетки минералов. Строение кристаллической решетки каолинита - двухпакетное и устойчивое, так как полярность пакетов, слагающих решетку, различна в местах их контактов, вследствие чего способность каолинита к поглощению влаги и набуханию невелика. Строение кристаллической решетки монтмориллонитов - трехпакетное, при этом отдельные пакеты решетки обращены друг к другу одноименными полюсами, вследствие чего связь между пакетами непрочная и решетка легко подвижна. Подвижность пакетов кристаллической решетки монтмориллонитов является причиной высокой степени поглощения влаги и набухания. В связи с таким строением кристаллических решеток минералов, возможно, что в мало набухающих каолинитах большое количество поглощенной воды находится на внешних поверхностях минеральных частиц, что обеспечивает большую подвижность частиц относительно друг друга, чем в монтмориллонитах, где большое количество поглощенной влаги находится в межпакетном пространстве, вызывая значительное набухание частиц, в результате которого подвижность частиц уменьшается и уменьшаются пластичные свойства.

В связи с тем, что пластичные свойства вероятно обуславливаются количеством капиллярной влаги, был проведен эксперимент по определению кинетики дегидратации насыщенных водой минералов для выявления доли капиллярной влаги. Дегидратацию проводили на анализаторе влажности МХ-50 (Япония) при постоянной температуре 50оС с поминутным определением массы образца. В результате эксперимента были построены графики зависимости скорости сушки и температуры образца в зависимости от содержания влаги. Полученные зависимости показали два диапазона скорости сушки: сушка с постоянной скоростью и с уменьшающейся скоростью. Область сушки с постоянной скоростью обусловлена содержанием капиллярной влаги, которая не связана поверхностными силами с твердой фазой. Область сушки с уменьшающейся скоростью, вероятно, связана с

содержанием влаги, связанной поверхностными силами твердой фазы. Наибольшим диапазоном постоянной скорости отличался каолинит, который продолжался от 50 до 10% содержания влаги. Постоянная область сушки монтмориллонита продолжалась от 50 до 20% содержания влаги. Наименьшая постоянная скорость сушки была у песка – от 21 до 3 % содержания влаги. Отсюда можно сделать заключение, что содержание капиллярной влаги, обеспечивающей пластичные свойства в реологическом поведении, наибольшее в каолините, что и подтверждает больший диапазон пластичного поведения каолинита по сравнению с монтмориллонитом.

Таким образом, преобладание в твердой фазе почв тех или иных минеральных компонентов в значительной степени обуславливает реологическое поведение почв.

Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного по Программе Развития МГУ им.М.В.Ломоносова

УДК: 631.43: 431.46

АГРОФИЗИЧЕСКАЯ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ДОЛИНЫ ЗЕРАФШАНА

Хакимова Н.Х.¹, Курвантаев Р.²

¹Бухарский государственный университет, e-mail: nodira-xayrullayevna1983@mail.ru

²Исследовательский институт почвоведения и агрохимии, e-mail: kurvontoev@mail.ru

Гранулометрический состав почвы нижней части реки Зерафшана в основном легкосуглинистый и среднесуглинистый, встречаются тяжелосуглинистые и глинистые, а также песчано-супесчаные. Количество физической глины в гранулометрическом составе орошаемых пустынно-песчаных почв в верхнем слое составляет 14,2 %, вниз, по профилю уменьшается от супесчаных до рыхлосвязанного песка, количества его составляет 5,2 %. В староорошаемых лугово-аллювиальных почвах количество физической глины по профилю составляет около 20,7-57,4 %. Новоорошаемые серобуро-коричневые луговые почвы по гранулометрическому составу супесчаные, количество физической глины колеблется в пределах 13,5-18,1%.

Орошаемые и новоосвоенные пустынно-песчаные почвы сильно уплотнены и этот показатель сильно варьирует по всему почвенному профилю от 1,42 г/см³ до 1,58 г/см³. В старорошаемых лугово-аллювиальных почв плотность пахотного слоя составляет 1,39-1,45 г/см³, тогда как подпахотный слой сильно уплотнен (1,46-1,58 г/см³). Объемная масса новоорошаемых серобуро-коричневых луговых и старорошаемых серозёмно-луговых почв по всему профилю сильно уплотнена и составляет 1,51-1,67 г/см³. По показателям удельной массы по профилю изученных почв, определенной закономерности не наблюдается, так как они мало обеспечены гумусом и по профилю почв она колеблется в пределах 2,54 -2,73 г/см³. Общая пористость составляет 50,9-52,3% относительно объемной массы почвы, но в средней части почвы отмечается снижение значения пористости до 47,9-48,5 %. Количество агрономически ценных агрегатов в верхнем слое орошаемых пустынно-песчаных почв равно-64-64%, в новоосвоенных пустынно-песчаных-38-41 %, в старорошаемых луговых аллювиальных- 47-78 %, в серозёмно-луговых-59-79 %, в серобуро-коричневых луговых почвах-50-70 %.

Разнообразие химических, агрохимических и агрофизических показателей почв связано, в свою очередь, специфичностью почвообразующих пород, различием рельефа, влиянием процессов засоления на биологические условия и, в общем на плодородие, особенно, на почвенную микрофлору. Во всех изученных почвах было отмечено, что аммонификаторы более многочисленны весной и осенью, чем летом. В новоосвоенных пустынно-песчаных, старорошаемых луговых, новоорошаемых серобуро-коричневых луговых почвах весной и осенью в слое 0-10 см аммонификаторы составили $3,7 \times 10^6$ - $5,7 \times 10^6$ КОЕ/г, $7,5 \times 10^4$ - $3,4 \times 10^6$

КОЕ/г, $1,5 \times 10^4$ - $2,2 \times 10^5$ КОЕ/г. Исследуемые почвы не только богаты актиномицетами, но и разнообразием других видов микроорганизмов. В почвах было замечено, что актиномицеты чаще встречаются весной и осенью, чем летом. В верхних слоях орошаемых, новоосвоенных пустынно-песчаных почв их количество составляет 5×10^3 - $6,2 \times 10^4$ КОЕ/г и $3,4 \times 10^6$ - $1,5 \times 10^6$ КОЕ/г, в староорошаемых аллювиальных почвах- $6,6 \times 10^6$ - $3,5 \times 10^8$ КОЕ/г и $2,2 \times 10^4$ - $1,5 \times 10^4$ КОЕ/г, в серобуро-коричневых луговых почвах- $4,5 \times 10^7$ - $3,7 \times 10^7$ КОЕ/г, в серозёмно-луговых почвах- $3,7 \times 10^7$ - $6,7 \times 10^7$ -КОЕ/г. Наблюдается накопление олигонитрофилов и грибов весной и осенью, чем летом. В верхнем слое орошаемых и новоосвоенных пустынно-песчаных почв количество их составляет $1,6 \times 10^4$ - $1,5 \times 10^4$ КОЭ/г и $3,2 \times 10^6$ - $5,2 \times 10^7$ КОЭ/г, в староорошаемых лугово-аллювиальных- $4,1 \times 10^6$ - $3,4 \times 10^6$ коэ/г и $3,0 \times 10^5$ - $2,2 \times 10^5$ КОЭ/г, в новоорошаемых серобуро-коричневых луговых почвах $2,2 \times 10^4$ - $1,5 \times 10^4$ КОЭ/г, серозёмно-луговых $6,7 \times 10^7$ - $6,7 \times 10^7$ КОЭ/г. В верхнем горизонте (0-10 см) орошаемых и новоосвоенных пустынно-песчаных почв осенью и весной, количество грибов составляет $2,2 \times 10^4$ - $6,7 \times 10^5$ КОЭ/г и $7,5 \times 10^6$ - $5,7 \times 10^6$ КОЭ/г, в староорошаемых луговых аллювиальных почвах- $3,2 \times 10^6$ - $4,5 \times 10^7$ КОЭ/г и $1,2 \times 10^8$ - $6,7 \times 10^7$ КОЭ/г, в серобуро-коричневых луговых- $3,0 \times 10^5$ - $4,5 \times 10^7$ КОЭ/г, серозёмно-луговых почвах- $1,2 \times 10^8$ - $6,7 \times 10^7$ КОЭ/г.

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ И ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ АГРОЭКОСИСТЕМ НА ТЕСТОВОМ ПОЛИГОНЕ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПЛОЩАДКАХ

Хитров Н.Б.*, Лозбенев Н.И., Когут Б.М., Хаматнуров Ш.А.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, *e-mail: khitrovn@gmail.com

Подготовлено методическое руководство по наземному мониторингу содержания и запасов органического углерода в почвах агроэкосистем на уровне тестового полигона и динамической площадки. Цель методического руководства – систематизировать и унифицировать систему полевых наблюдений почв, лабораторного определения содержания органического углерода в почве, расчетов запасов органического углерода в почвах, обработке экспериментальных данных на тестовом полигоне для организации мониторинга содержания и запасов органического углерода в почвах земель сельскохозяйственного назначения. При создании Руководства использован опыт проведения базового периода наблюдений на 5 тестовых полигонах из разных почвенно-экологических районов. Руководство включает: (1) краткое изложение и схему системы наземного мониторинга содержания и запасов органического углерода в почвах агроэкосистем; (2) перечисление пунктов паспорта тестового полигона мониторинга; (3) описание работ по обследованию состояния почвенного покрова и землепользования тестового полигона; (4) требования к динамическим площадкам и схемы их расположения на тестовом полигоне; (5) полевые работы на динамической площадке мониторинга углерода в почвах; (6) лабораторно-аналитические работы по мониторингу углерода; (7) обработку данных о содержании, запасах углерода в почвах на уровне динамической площадки мониторинга; (8) различные приложения с обоснованием рекомендуемых положений в Руководстве.

Изложение Руководства сделано в порядке рекомендуемого выполнения полного цикла работ от первоначального сбора разнообразной информации о тестовом полигоне мониторинга, характеристики природных условий, включая неоднородность почвенного покрова, выявления на нем разнотипных угодий и используемых технологий, проведения ретроспективного мониторинга землепользования за предшествующие 15-20 лет, выполнения почвенного обследования с закладкой сети почвенных разрезов и сети динамических площадок для мониторинга содержания и запасов органического углерода в почвах, отбора образцов почв на динамических площадках, составления ведомостей образцов для лаборатории, методов определения общего, неорганического и органического углерода, плотности почвы и доли крупной фракции части в почвах, выполнения

разнообразных расчетов содержания и запасов органического углерода в почве, включая новые предлагаемые показатели, и способов сравнения результатов измерений в один срок наблюдений и во времени.

В Руководстве рекомендован особый дифференцированный отбор образцов почв по глубине тонкими слоями для возможности получения приемлемой минимальной значимой разности содержания или запасов органического углерода в почвах при оценке изменений в пространстве и во времени, а также получения предварительной информации в начальный базовый период наблюдений о способности той или иной технологии обеспечить выполнение почвой углерод-секвестирующей функции. Предложены показатели оценки вертикального распределения содержания органического углерода и дифференцированно-кумулятивного содержания и запаса органического углерода в слое 0-30 см, на основе которых осуществляют предварительный прогноз способности выбранной технологии обеспечить выполнение почвой углерод-секвестирующей функции.

Предлагаемый в Руководстве подход может быть также использован для организации сети небольших участков (до 10 га) в разных регионах страны для более полного охвата существующего разнообразия почв и используемых на них технологиях ведения сельского хозяйства.

УДК 631.43

РЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУНДРОВЫХ ГЛЕЕЗЕМОВ ПУЧИННО-МЕЛКОБУГОРКОВАТЫХ МИКРОКОМПЛЕКСОВ

Холопов Ю.В.,¹ Лаптева Е.М.,¹ Шахтарова О.В.,¹ Хайдапова Д.Д.²

¹Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail: vegalyn@mail.ru, elena.lapteva.60@mail.ru;

²МГУ им.М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: dkhaydapova@yandex.ru;

При изучении тундровых почв исследователи часто отмечают признаки различных деформационных явлений (пучение, тиксотропность, плавунность), которые оказывают влияние на функционирование данных почв и обеспечение устойчивости экосистем в сложных и экстремальных условиях Севера. Особую актуальность исследования, связанные с изучением деформационных явлений северных почв, приобретают в современных условиях быстрого изменения климата, когда встают проблемы сохранения стабильности тундровых ландшафтов с многолетнемерзлыми породами. Данные о структурно-механических свойствах, т.е. оценке связи элементарных почвенных частиц между собой и их деформационных свойств, можно получить с помощью почвенно-реологических исследований. Реология как наука рассматривает вопросы изучения течения и деформации реальных тел, а также включает в себя учение о качестве физико-химических связей исследуемых систем. Изучение физико-механических свойств почв с помощью реологического подхода позволяет оценить их структурное состояние и устойчивость в условиях изменяющегося климата и возрастающего техногенного воздействия, а также более четко охарактеризовать их специфические особенности, выявить дополнительные диагностические показатели для решения вопросов генезиса и классификации северных почв.

Целью данной работы является оценка реологических особенностей суглинистых тундровых почв, формирующихся под мохово-ерниковой и лишайниковой растительностью в пучинно-мелкобугорковатом микрокомплексе.

Объектом исследования послужили южно-тундровые автоморфные почвы: торфяно-глезем криометаморфический потечно-гумусовый, сформированный под мохово-ерниковым бугорком, и глеезем криометаморфический грубогумусовый под морозобойным лишайниковым пятном пучения. Реологические параметры определяли на модульном реометре MCR-302 «Anton Paar» (Австрия). В наших исследованиях использовали метод

амплитудной развертки (колебательный метод), с измерительными системами плита-плита. Исследовали образцы почв, растертые и пропущенные через сито диаметром 1 мм, насыщенные водой в течение 24 часов до состояния максимального насыщения. Характерным морфологическим признаком исследуемых тундровых почв является формирование в их профиле сизого тиксотропного глеевого горизонта G. В профиле под моховым бугорком глеевые горизонты в верхней части (Ghi) имеют гумусовое прокрашивание с буро-коричневым оттенком. На глубине 95 см от поверхности залегает многолетнемерзлая порода. При некоторых морфологических различиях профиля почвы под моховым бугорком и пятном пучения по физико-химическим свойствам во многом близки, исключением является содержание и профильное распределение органического вещества. Исследования показали, что почвенная структура в пятнах пучения менее устойчива к механическим нагрузкам в силу преобладания непрочных коагуляционных контактов между частицами почвы. Наиболее устойчивыми к деформациям, как под моховым бугорком, так и под пятном оказались верхние органогенные горизонты (Oae) с высокими показателями предела пластичной (CROSSOVER 57-94%) и диапазона упругой (LVE-range 0,0140-0,0173%) деформации. Однако, верхние потечно-гумусовые глеевые горизонты (Ghi) под моховым бугорком имеют более жесткие и прочные контакты между частицами почвы, нежели дезагрегированные глеевые горизонты (G) под лишайниковым пятном. Это различие обусловлено влиянием иллювиальных гумусовых и органико-минеральных соединений, которые связывают частицы почвы в более прочные соединения. Предельные значения величин модуля накопления G' в глеевых горизонтах под лишайниковым пятном достигают 0,25 МПа, тогда как максимальные значения G' под моховым бугорком – 0,66 МПа. По прочности структуры почва под моховым покровом почти в 3 раза превосходит почвы под пятнами. С этим связана более высокая податливость глеевой минеральной массы в пятнах пучения к деформационным процессам. Сезонные процессы оглеения, промерзания и оттаивания почв приводят к дезагрегации минеральной массы с формированием временных конденсационных связей, переходящих при переувлажнении в малопрочные коагуляционно-тиксотропные контакты, однако, мощный мохово-торфяной горизонт, а также иллювиальные гумусовые вещества, поступающие из подстилки, препятствуют возникновению негативных деформационных явлений. Таким образом, участки тундровых торфяно-глееземов, способствуют стабилизации тундрового пучинно-бугоркового ландшафта, особенно в летний период, когда максимально оттаявшие тундровые почвы перенасыщены влагой и наиболее склонны к пльвунным и тиксотропным процессам.

УДК 631.425.4

СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА «РОСТОВСКИЙ»

Шеванюк Д.С., Гончарова Л.Ю.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail lygoncharova@sfedu.ru

Структурное состояние – это один из основных факторов, определяющих почвенное плодородие и играющих важное значение в жизни растений.

Объектом исследования являются основные типы почв сухостепной зоны состав почвы - солонец, солончак и каштановая почва биосферного заповедника «Ростовский».

В верхних горизонтах (AE, E) солонца каштанового наблюдается преобладание структурных отдельностей размером <0,25 мм (микроагрегаты), структура в основном пылеватая – протекают процессы осолодения, т.е. щелочного гидролиза, разрушения минеральной части почвы. Горизонт B_{на} характеризуется возрастающей долей макроагрегатов (>10 мм), в сухом состоянии он весьма уплотнен и растрескивается на достаточно крупные отдельности (до 50 мм): это обусловлено присутствием обменного натрия в иллювиальном горизонте. В нижележащем горизонте B распределение фракций различного размера более равномерно. Горизонт BC отличается относительно большой долей структурных отдельностей >10 мм –

он переходный к засоленной породе – однако преобладающей является мезоструктура. В целом нижние горизонты солонча каштанового характеризуются удовлетворительным структурным состоянием в сравнении с верхними, доходя до оценки «хорошо» в ВС. В составе горизонта А солончака наблюдается достаточно равномерное распределение почвенных фракций, преобладает мезоструктура и присутствует небольшая доля макроагрегатов. В горизонтах В и ВС среди преобладания мезоагрегатов особо отличается фракция 5-2 мм – она считается особенно ценной с точки зрения почвенного плодородия. Нижний горизонт – материнская порода – испытывает на себе влияние оглеения (происхождение солончака гидроморфное), наблюдается некоторое проявление тиксотропности и преобладание макроструктуры. Оценка структурного состояния данной почвы в целом по профилю – «хорошее».

Дерновый горизонт каштановой солонцеватой почвы является сплошь пылеватым: в процессе работы нам не представилось возможным провести полноценный анализ данного горизонта, Гумусовый горизонт также характеризуется некоторой пылеватостью (фракция <0,25 мм составляет более трети), однако уже наблюдается большая оструктуренность в сравнении с Ad. В горизонте АВ наблюдается тенденция к преобладанию мезоструктуры (отдельности размером 1-0,25 мм), однако сохраняется некоторая равноценность в содержании макро- и микроагрегатов. Так как данная почва является солонцеватой, в горизонтах АВ и В встречаются структурные отдельности >10 мм, и они составляют около трети от суммы всех фракций. Вся является хорошо оструктуренным горизонтом с весьма равномерным распределением фракций и преобладанием мезоагрегатов: присутствие кальция благоприятно влияет на структуру почвы за счет образования гуматов и фульватов кальция. Горизонт ВС так же характеризуется преимущественно мезоструктурой. Оценка структурного состояния каштановой почвы – «хорошее» и «удовлетворительное» с тенденций к улучшению вниз по профилю.

Среди почв заповедника наилучшими показателями структурного состояния (в том числе и коэффициентом структурности) обладает солончак соровый. Он же является и наименее пригодной для сельскохозяйственного использования почвой. Для солонча и каштановой почвы в данный момент характерно улучшение агрегатного состояния вниз по профилю. Для каштановой почвы это обуславливается скорее всего структурообразующей ролью кальция. По показателю структурного состояния можно расположить исследуемые почвы в следующем порядке: солонец каштановый < каштановая почва < солончак соровый. Для сельскохозяйственного использования в дальнейшем наиболее пригодной является каштановая почва, а солонец и солончак являются ближайшим резервом для вовлечения их в хозяйственную деятельность, хотя и достаточно дорогостоящим.

УДК 631.4

АГРОЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ПОЧВ ВЕРХНЕВОЛЖСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ АГРОПОЛИГОНА «ГУБИНО»)

Шилов П.М., Лозбенев Н.И.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, shilov_pm@esoil.ru

Основу для выделения агроэкологических групп и видов земель составляет инвентаризация топографических и литологических условий агроландшафта. Это приобретает крайнюю необходимость в случае пестрого характера рельефа и литологического строения почвообразующих пород. Наиболее оперативно получить информацию о строении и составе пород позволяют неинвазивные геофизические методы, адаптированные к малоглубинным исследованиям почв – электротомография, электромагнитное индукционное профилирование и георадиолокация.

Цель работы – выполнить классификацию видов земель с учетом дистанционной инструментальной диагностики условий мезорельефа и почвообразующих пород.

Объект исследования – многолетний научно-производственный опыт «Трансекта» на территории агрополигона «Губино» Всероссийского научно-исследовательского института мелиорируемых земель (ВНИИМЗ, пос. Эммаусс). Почвенный покров трансекты сформирован на двучленных отложениях – флювиогляциальных супесях и песках времен таяния московского оледенения, мощностью от 40-50 см до нескольких метров, подстилаемых моренными суглинками.

Электромагнитное профилирование двучленных отложений выполнено аппаратурой GEONICS EM38-MK2. Техническое устройство данной установки обеспечивает зондирование на эффективных глубинах 0,375 м; 0,75 м и 1,5 м. На трансекте выполнено профилирование с шагом 7 м с регистрацией в непрерывном режиме электропроводности почв.

Между мощностью песка и электропроводностью в слое 0-1,5 м наблюдается нелинейная экспоненциальная зависимость. Электромагнитное профилирование на трансекте выполнено дважды с полным соответствием даты съемки (июнь 2022 и июнь 2023 гг) и соответствием позиционирования. Таким образом проверялась гипотеза о сравнении картины распределения электропроводности почв на трансекте в годы с разной нормой атмосферного увлажнения.

Полученные данные профилирования интерполированы методом ординарного кригинга с шагом сетки 10 м. Растры свойств рельефа и растры электропроводности почв приведены к одинаковому разрешению и пространственному охвату. При помощи метода главных компонент получены два фактора, описывающие варьирование топографических и литологических условий на трансекте. Полученные компоненты использованы для неуправляемой классификации и автоматического картографирования видов земель.

В результате разновременного геофизического обследования обнаружена высокая степень корреляции ($r=0,9$) значений электропроводности и пространственного рисунка для 2022 и 2023 гг. В анализируемые сроки на трансекте прослеживаются разные агроклиматические условия и условия почвенно-грунтового увлажнения. В одну и ту же фазу вегетации в 2023 году УГВ оказался ниже на 50 см, чем в 2022 году. Можно утверждать, что картина изменчивости электропроводности отражает варьирование консервативного фактора почвообразования – мощности двучленных отложений: чем выше электропроводность в слое 0-1,5 м, тем меньшую мощность имеет двучлен, и наоборот.

Первый фактор прямо пропорционально связан с электропроводностью почв в слое 0-1,5 м, то есть значения первого фактора увеличиваются с уменьшением мощности двучлена (моренные суглинки ближе подстилаются к поверхности). Второй фактор прямо пропорционально связан с топографическим индексом превышений, обратно пропорционально связан с топографическим индексом влажности.

Комбинация значений этих факторов и их интерпретация при помощи свойств рельефа и почвообразующих пород позволяют упорядочить виды земель по шкале на рисунке 1Б. На одном краю этой шкалы находятся участки трансекты в вогнутых элементах мезорельефа с большой мощностью двучлена. На противоположной краю шкалы находятся участки выпуклые с малой мощностью двучлена. Обнаружено соответствие между картой видов земель, составленной на основе автоматической неуправляемой классификации (рис. 1Б), и картой земель, составленной традиционным способом (рис. 1В) – на основе почвенно-ландшафтного картографирования и группировки земель по В.И. Кирюшину. Наибольшая степень сходства характерна для литогенных и слабополугидроморфно-литогенных земель с почвами на маломощном двучлене (< 50 см), высокой величине индекса TPI. В меньшей степени соответствуют на картах сильнополугидроморфно-литогенные и среднеполугидроморфные земли (на севере трансекты).

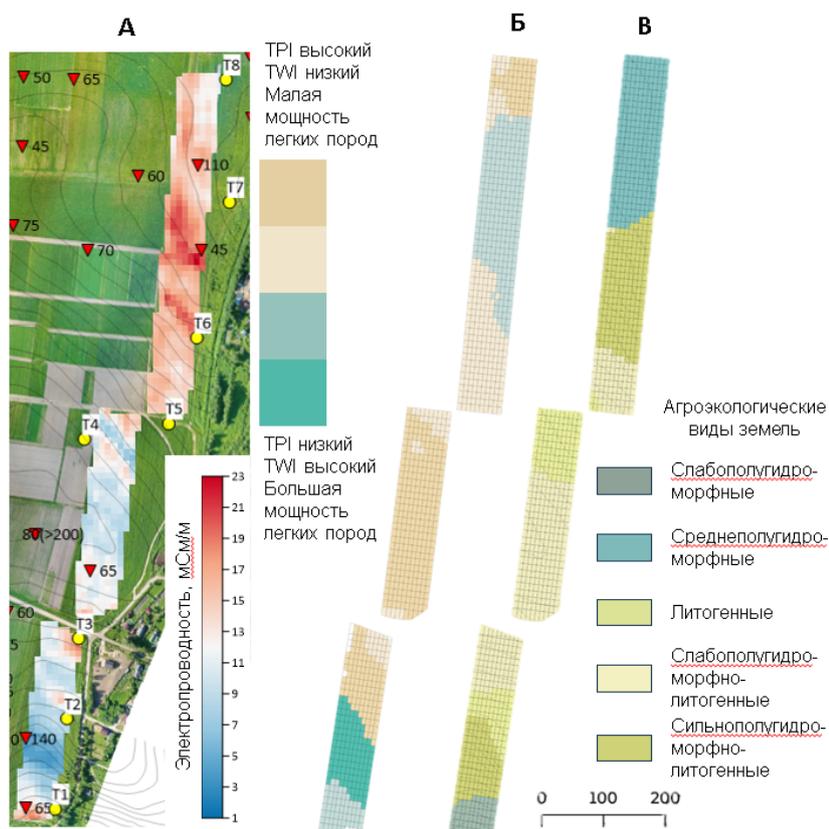


Рисунок 1. Карты видов земель трансекты агрополигона «Губино»: А) электропроводность почв в слое 0-1,5 м в июне 2023 г, Б) составленная при помощи неинвазивной диагностики, В) составленная традиционным подходом группировки почв по В.И. Кирюшину

(В) П КОМИССИЯ. ХИМИЯ ПОЧВ

УДК 550.4

НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ ДЕФИЦИТА ЙОДА В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ БРЯНСКОЙ, КАЛУЖСКОЙ И ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

Березкин В.Ю.¹, Баранчуков В.С.¹, Головин М.Л.¹, Данилова В.Н.¹, Кулиева Г.А.², Костин С.А.¹

¹Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, victor76@list.ru, baranchukov@gmail.com, mikhail.golovin.00@list.ru, val1910@mail.ru, alexanderk640@gmail.com

²Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, gkulieva@mail.ru

Недостаток йода в окружающей среде, и как следствие, его недостаточное поступление в организм человека, провоцирует возникновение йододефицитных заболеваний у людей и

сельскохозяйственных животных (в том числе гипотиреоза, узловых новообразований щитовидной железы, необратимых нарушений мозга у плода и новорожденного), приводит к умственной и физической утомляемости, снижению иммунитета, развитию эндемичного зоба. Природный дефицит йода в некоторых регионах России не только провоцирует заболевания щитовидной железы, но усугубляет эффект от последствий поступления в пищевые цепи короткоживущих радиоактивных изотопов этого элемента во время аварии на Чернобыльской АЭС (1986). Целью работы являлась оценка содержания йода в разных генетических типах пастбищных почв Калужской, Брянской и Орловской областей на уровне отдельных населённых пунктов и его зависимость от таких факторов, как концентрация селена и содержание органического углерода. Было исследовано содержание йода, селена и органического углерода ($S_{орг}$) в почвах геохимически контрастных ландшафтов областей, пострадавших при аварии на ЧАЭС. Полевые исследования проводились в летний период в Брянской (2021 г.), Орловской (2022 г.) и Калужской (2023 г.) областях вблизи населённых пунктов, в которых выбирались тестовые площадки на пастбищах с учётом рельефа. В ходе обследования тестовых площадок осуществлялся отбор образцов почв на пастбищах ручным буром из верхнего 20-см слоя, с последующим разделением керна в интервале глубин 0–5; 5–10 и 10–20 см. Содержание йода, селена и $S_{орг}$ в почвах определялось в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН (Москва): йод - ускоренным кинетическим роданидно-нитритным методом, селен - спектрофлуориметрическим, органический углерод - методом мокрого сжигания по Тюрину. Обработку результатов проводили в программных комплексах Microsoft Excel, TIBCO STATISTICA 13.3, ESRI ArcGIS 10.8. Всего было обследовано 45 индивидуальных точек отбора почв, характеризующих различные типы пастбищных почв (дерново-подзолистые, серые, чернозёмы и др.). Установлено, что содержание йода в верхнем слое почвы (0-5 см) исследуемой территории варьирует в широких пределах (дерново-подзолистые 0,31-0,81 мг/кг, $n = 10$, серые 0,53-1,73 мг/кг, $n = 18$, чернозёмы 1,99-3,04 мг/кг, $n = 13$). Для более глубоких слоёв (5-10 см, 10-20 см) наблюдалась схожая картина, с меньшим размахом варьирования, за исключением дерново-подзолистых почв. При этом, выявлено убывание медианных значений концентрации йода с глубиной для чернозёмов, в то время как для дерново-подзолистых и серых почв его содержание максимально в нижнем отобранном слое (10-20 см). Для селена в верхнем слое почвы (0-5 см) наблюдалась обратная тенденция, убывание содержания селена в ряду дерново-подзолистые почвы (0,28 мг/кг) > серые почвы (0,19 мг/кг) > чернозёмы (0,11 мг/кг). Схожая, но менее выраженная картина наблюдалась для более глубоких слоёв (5-10 см, 10-20 см). Проведённые исследования подтвердили зависимость содержания йода в верхнем горизонте пастбищных почв от содержания органического углерода, обусловленного, прежде всего, зонально-климатическими факторами (закономерной сменой зональных почв) и положением пастбищных угодий в рельефе (рис. 1).

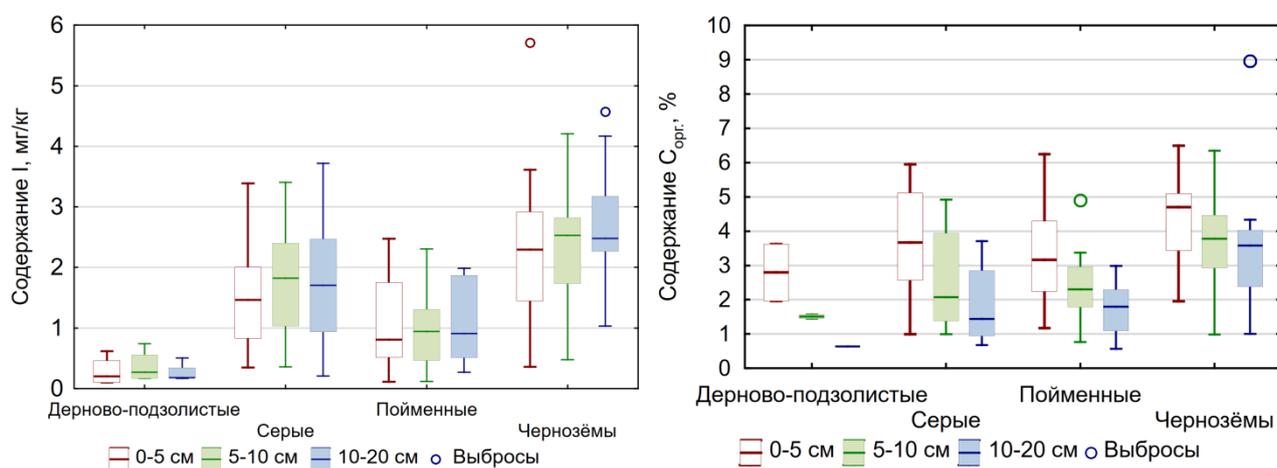


Рис. 1 Содержание йода и органического углерода в основных типах почв сельскохозяйственного назначения исследуемой территории

Установлена корреляционная связь между содержанием йода и Сорг в верхнем 20-см слое в зональных типах почв пастбищных угодий: от $r=0,3$ у чернозёмов и серых почв, и до $r=0,64$ у дерново-подзолистых. Показано, что специфика пространственного распределения йода в почвах пастбищ исследованных областей заключается в росте его содержания в направлении с северо-запада на юго-восток, что в целом отвечает зональной структуре почвенного покрова, при этом почвы пастбищ Брянской и юга Калужской области, беднее йодом и органическим углеродом в сравнении с почвами Орловской областью. Установлено отрицательная корреляционная связь между содержанием йода и селена в почвах пастбищ исследованной территории: от $r=-0,11$ у чернозёмов до $r=-0,48$ у серых почв. Выявленные различия в фиксации почвами йода следует учитывать, поскольку они могут влиять на уровни поступления йода в молоко пастбищных животных и местные рационы питания. При отсутствии йодной профилактики на территории исследуемых областей возможен рост заболеваемости среди населения раком щитовидной железы и другими заболеваниями, связанный как с недостаточной обеспеченностью почв и производимых на них продуктах - йодом (явления йододефицита), так и техногенными полями радионуклидов, в том числе изотопов йода, возникающих в результате ядерных испытаний и аварий (при «йодном ударе»). Можно предполагать, что низкое содержание йода в традиционных продуктах питания местного населения (молоке коров и коз), производимых на личных подсобных хозяйствах, обусловлено, в первую очередь, слабой фиксацией йода в почвах бедных органическим веществом. Работа выполнена по государственному заданию лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, при участии специалистов института экологии РУДН имени Патриса Лумумбы, поддержанных НИР № 202726-0-000 «Радиационная безопасность пищевых продуктов растительного и животного происхождения». Авторы выражают благодарность студенткам института Экологии Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы Багаутдиновой А.С. и Топильской Ю.И. принимавшем участие в отборе проб в Калужской области в мае 2023 г.

УДК 550.4

АНАЛИЗ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК ФАКТОР ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В СЛЕДСТВИЕ ДЕФИЦИТА ЙОДА В ПОЧВАХ

Благина А.С.¹, Березкин В.Ю.^{1,2}, Баранчуков В.С.², Орловский А.В.¹

¹Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, [Москва, 1032201395@rudn.ru](mailto:1032201395@rudn.ru), victor76@list.ru, orlovskiy-av@rudn.ru

²Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, victor76@list.ru, baranchukov@gmail.com

По данным ВОЗ, от 1,5 до 2 миллиардов человек живут в условиях йодного дефицита, что часто является скрытой причиной многих заболеваний, а в некоторых регионах вызывает эндемичный зоб. В России многие регионы имеют статус дефицитных по содержанию йода в организме животных и человека. В основном это Нечернозёмная зона и горные территории. При этом дефицит йода обычно наиболее выражен в сельской местности, в связи с особенностями структуры питания сельских жителей. Природный йододефицит, в некоторых регионах, может усугублять последствия глобализации: поставки продуктов питания сегодня возможны в том числе и из регионов с низким содержанием йода в сельскохозяйственных почвах. Учитывая, что основное количество йода (свыше 90%) человек получает с пищей, в случае систематического употребления продуктов из регионов с низким его содержанием,

возможно проявление болезней щитовидной железы, связанных с йодной недостаточностью в тех регионах, где йододефицитные заболевания как природная эндемия не фиксировались ранее. Учитывая массовое употребление в России хлебобулочных изделий и других продуктов, получаемых при переработке зерновых, ежегодные межрегиональные поставки значительных объёмов зерна могут отражаться на содержании йода в рационах питания жителей отдельных регионов. Хотя при перевозке зерна между регионами России уделяется большое внимание его физическому состоянию и качеству, систематического контроля содержания йода в зерновых и сельскохозяйственных почвах не ведётся. Анализ существующей ситуации на уровне субъектов РФ, позволит осуществлять оперативный прогноз необходимости профилактики (например, употребление йодированной соли) в отдельных регионах, что могло бы способствовать снижению заболеваемости и смертности от заболеваний щитовидной железы. Проблема осознаётся на государственном уровне: на сегодняшний день в ряде стран, включая Россию, разработаны национальные программы или проекты по обогащению йодом зерновых культур, овощей и фруктов (Синдирева А.В. и др., 2017). Целью исследования является анализ вклада межрегиональных поставок зерновых в дефицит йода в структуру питания жителей некоторых регионов России с низким содержанием йода в почвах сельскохозяйственного назначения. Содержание йода в сельскохозяйственных почвах России было рассчитано по данным, полученным из открытых источников (средние значения по типам почв). Картографический анализ площади разных типов почв в пределах сельскохозяйственных регионов был выполнен в геоинформационной системе QGIS Desktop 3. За основу оценки дефицита йода в почвах был взят критерий Ковальского (Ковальский В.В., 1972) по содержанию валового йода в почвах (менее 5,0 мкг/кг – недостаточное, 5,0-40,0 мг/кг – норма, более 40,0 мг/кг – избыточное). Данные о межрегиональных поставках зерна были получены из открытых источников (отчёт состояния зернового рынка за 2020-2024 годы). Анализ выполнен по пяти субъектам РФ, характеризующимся различными типами почв сельскохозяйственного назначения: дерново-подзолистые, серые, чернозёмы и др. (названия почв даны по классификации почв России, 2004 г.). Для оценки риска заболеваемости раком щитовидной железы среди сельского населения использовалась два вышеупомянутых фактора йододефицита: природный дефицит йода в регионе, который оценивался на основе содержания йода в почве с учётом пороговых концентраций Ковальского и поставки зерновых из других регионов с отличным содержанием йода в почвах. По каждому из параметров каждый регион (область) был отнесён к одной из трёх групп риска: 1 – минимального риска (регионы, поставляющие и получающие зерно, отличающиеся высоким содержанием йода), 2 – умеренный риск (поставки зерна из регионов бедных йодом или с низким содержанием йода в регионы получающие зерновые), 3 - максимальный риск (низкое содержание йода в регионах как поставляющих, так и получающих зерно). Результаты исследования: Наиболее благоприятная ситуация отмечена при поставках зерновых из Саратовской области в Краснодарский край, и из Оренбургской области в Саратовскую и Челябинскую области (табл. 1). Регионы-отправители зерна, как и регионы куда осуществлялись поставки, имеют достаточно высокие показатели содержания йода в почвах близкие к норме (не менее 5 мг/кг), ввиду преобладания чернозёмов. Балльная оценка - 1, соответствует минимальному риску для здоровья потребителей.

Таблица 1 Группы риска развития раков щитовидной железы в регионах, получающих зерновые из районов с низким содержанием йода

Округ	Регион отправления	Преобладающий тип почв ро	КОНЦЕНТРАЦИЯ йода мг/кг (ОТПРАВКА)	Округ	Регион получения	Преобладающий тип почв рп	КОНЦЕНТРАЦИЯ йода мг/кг (ПОЛУЧАТЕЛЬ)	Группа риска (по донору)
Лидеры по экспорту; распределение отгрузок								
Приволжский (ПФО)	Саратовская область	Черноземы, лугово – каштановые, дерновые	3,99	СЗФО	Ленинградская область	подзолистые почвы	0,55	3
				ЮФО	Краснодарский край	черноземы	3,95	1
				УФО	Кировская область	подзолистые почвы	1,01	2
				СЗФО	Санкт Петербург	подзолистые почвы	0,55	2
				СФО	Алтайский край	каштановые почвы	3,47	1
ЦФО	Костромская область	подзолистые почвы	1,14	2				
Сибирский (СФО)	Красноярский край	Подзолистые тайги и горно-тундровые почвы	0,82	ДФО	Приморский край	бурая почва	1,52	3
				СФО	Алтайский край	каштановые почвы	3,47	3
				СФО	Новосибирская область	серые лесные	1,69	3
				ДФО	Забайкальский край	луговые	1,62	3
Приволжский (ПФО)	Оренбургская область	Черноземы	4,78	ПФО	Саратовская область	каштановые почвы	3,99	1
				ЦФО	Москва	подзолистые почвы	1,19	2
				УФО	Челябинская область	черноземы	3,82	1
				СЗФО	Санкт петербург	подзолистые почвы	0,55	2
Центральный (ЦФО)	Тульская область	Дерново-подзолистые, серые-лесные, черноземы	3,76	ЦФО	Москва	подзолистые почвы	1,19	2
				ЦФО	Костромская область	подзолистые почвы	1,14	2
				СЗФО	Псковская область	подзолистые почвы	1,47	2
				СЗФО	Санкт петербург	подзолистые почвы	0,55	2
Северо-Кавказский (СКФО)	Ставропольский край	Черноземы, каштановые	3,72	ЮФО	Краснодарский край	черноземы	3,95	2

Поставки из Саратовской, Оренбургской и Тульской области, а также из Ставропольского края в регионы с низким содержанием йода в почвах сельскохозяйственного назначения, потенциально не могут ухудшить ситуацию с йододефицитом, однако их влияние будет определяться долей ежегодных поставок зерновых и региональной долей хлебобулочных изделий в продуктовой корзине конкретного региона. Такая оценка требует дополнительных исследований, поэтому Регионам присваивалась балльная оценка - 2 соответствует умеренному риску (поставки зерна из региона с высоким содержанием йодом в почвах, в регионы содержанием йода от низкого (0,55 мг/кг) до умеренного (3,9 мг/кг)).

Наконец поставки из Красноярского края (почвы с низким содержанием йода - 0,82 мг/кг) в некоторые регионы с невысоким содержанием йода в почвах, будут способствовать ухудшению общей ситуации с йододефицитом. Балльная оценка - 3, соответствует максимальному риску для здоровья потребителей (табл. 1). Таким образом, установлено, на примере межобластных поставок зерновых, что жители некоторых регионов России могут получать недостаточное количество йода с продуктами питания, даже проживая вне зоны дефицитной по содержанию йода в почвах. Предлагаемый анализ позволяет выявлять регионы с наибольшим дефицитом йода в пищевой цепи, что имеет важное значение для профилактики йододефицитных заболеваний. В дальнейших исследованиях планируется рассчитать долю поставок зерновых из йододефицитных областей, для каждого субъекта Российской Федерации, получающего зерновые в ходе региональных поставок. Работа была выполнена как частное инициативное исследование, при частичной поддержке лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН в рамках государственного задания.

УДК 6314: 504.53.062.4

СОЗДАНИЕ НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ БИОЧАРОВ И МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ АУКСИНА РАСТЕНИЯМ Грицай М.А.

Южный федеральный университет, Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов, Ростов-на-Дону, e-mail: gritsai@sfedu.ru;

Ауксины – это класс растительных гормонов, играющий ключевую роль в различных аспектах роста и развития растений. Они способствуют росту клеток, особенно в стебле, и регулируют апикальное доминирование, подавляя рост боковых почек. Ауксины также влияют на развитие корневой системы, участвуют в тропизмах, включая фототропизм, гравитропизм и тигмотропизм, а также в развитии плодов. Кроме того, они регулируют

опадение листьев и дифференцировку сосудистой ткани, необходимой для транспортировки веществ по растению. Взаимодействуя с другими гормонами и сигнальными молекулами, ауксины координируют различные аспекты роста и развития растений в зависимости от концентрации, типа ткани и стадии развития.

В стрессовых условиях растения не всегда могут обеспечить себя необходимым количеством ауксинов. Существуют различные пути проникновения экзогенных ауксинов в растения. Через корни ауксин поглощается из почвы, используя как пассивную диффузию, так и активные транспортные механизмы. Внекорневая обработка позволяет быстро впитывать ауксин через устьица и кутикулу листьев. Внесение растворов ауксина под корень стимулирует рост корней и растений. Культивация тканей *in vitro* с добавлением ауксина способствует образованию корней или регенерации побегов. Однако, важно понимать, что, как и любые гормоны, ауксины могут оказывать различные эффекты в зависимости от их концентрации, времени воздействия и других факторов. Повышенное содержание ауксинов может быть полезным для стимуляции роста и развития растений, но при слишком высоких концентрациях они также могут вызывать нежелательные эффекты, такие как деформация растений или подавление других гормонов роста. Поэтому необходимо дозировать содержание ауксина, используя для этих целей различные пористые материалы с высокой рабочей емкостью

Наноконтейнеры на основе металл-органических каркасов (МОК) представляют собой эффективное средство для сорбции ауксинов. Благодаря своей пористой структуре они способны эффективно адсорбировать и удерживать молекулы ауксинов. Высокая сорбционная емкость данных материалов позволяет адресно доставлять ауксины в корневую зону растений без негативного воздействия на другие компоненты. При этом изменения внешних условий, таких как, например, pH среды, могут провоцировать процессы десорбции или медленного разрушения МОК, что обеспечивает пролонгированный релиз малых количеств фитогормона, не вызывая негативных реакций растений.

Цель данной работы заключалась в разработке методики создания наноконтейнеров на основе МОК семейств $UiO-66-NH_2$, ZIF-8 ST и MIL-100(Fe), выполняющих функцию инкапсулирующего материала для фитогормонов. В качестве модельного фитогормона использована индол-3-уксусная кислота (IAA), относящаяся к одному из наиболее изученных ауксинов. Эффективность загрузки IAA в наноконтейнеры контролировалась путем измерения UV-vis спектров растворов до и после контакта с МОК. Анализ UV-vis спектра раствора IAA показал наличие интенсивного пика поглощения в ультрафиолетовой области спектра при 278 нм. Для определения концентраций IAA в растворах после сорбции была построена калибровочная прямая на основе пяти известных концентраций IAA. Это позволило рассчитать концентрации IAA после взаимодействия с наноконтейнерами. Для загрузки IAA в наноконтейнеры был приготовлен раствор IAA с известной концентрацией, который затем смешивался с соответствующими наноконтейнерами и перемешивался в течение определенного времени. После этого наноконтейнеры отделялись от раствора методом центрифугирования, а их спектры исследовались на UV-vis спектрофотометре (рисунок 1). Полученные результаты указывают на то, что наноконтейнер $UiO-66-NH_2$, обладает наибольшей способностью к поглощению IAA, благодаря более эффективному связыванию карбоксильной группы IAA с аминогруппами линкера наноконтейнера.

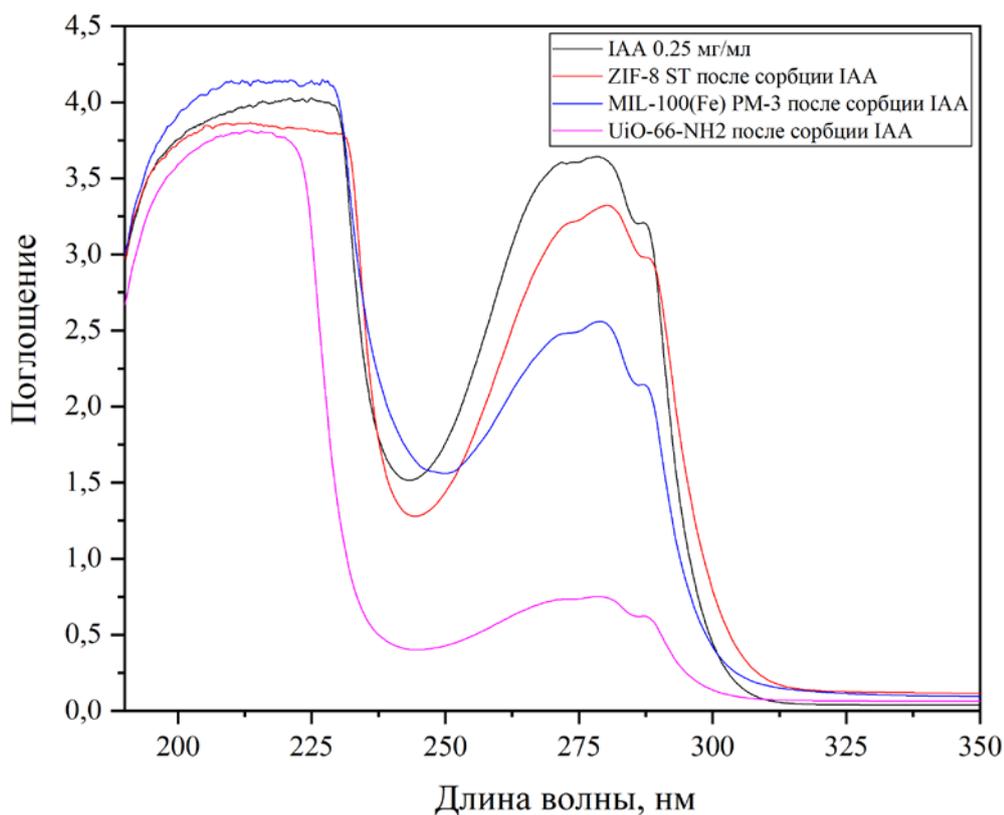


Рис. 1 - UV-vis спектры водных растворов IAA после сорбции МОК

Таким образом, в результате проведенного исследования разработаны методики синтеза наноконтейнеров, которые могут быть использованы в качестве носителя для адресной доставки природных стимуляторов роста растениям. Установлено, что наноконтейнер на основе UiO-66-NH₂ обладает наибольшей способностью к поглощению индол-3-уксусной кислоты. Эти результаты могут быть важным шагом в разработке новых методов агрономического улучшения культурных растений, повышения их урожайности и улучшения устойчивости к стрессовым условиям.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22–76–10054) в Южном федеральном университете.

УДК 631.4.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРУГИХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОЗДУШНО-СУХИХ АГРЕГАТАХ ТРАНС-ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ (НА ПРИМЕРЕ УОПЭЦ ЧАШНИКОВО).

Денисова Г.И.

Учебно-опытный почвенно-экологический центр МГУ имени М.В. Ломоносова "Чашниково", Чашниково, galya-denisova787@yandex.ru

Влияние эрозии на почвенное плодородие огромно, в особенности за счёт воздействия на верхний гумусовый слой. В гумусовом слое содержатся не только углерод в совокупности с микро- и макроэлементами, многие из которых необходимы для роста и развития растений. Гумусовый горизонт является буферной зоной, аккумулирующей большую часть попадающих в почву элементов, поэтому при разрушении гумусового слоя в процессе эрозии может происходить загрязнение грунтовых вод тяжёлыми металлами. Известно, например, что для эродированных почв характерно промывание верхних горизонтов и лишь частичное

закрепление свинца и меди в нижних плотных горизонтах. Важную роль в процессе закрепления элементов играет их склонность к образованию коллоидных форм, элементы, не образующие таких форм (например, Zn), активнее вымываются вниз по профилю. Кроме того, многие элементы, а частности углерод, медь, цинк и фосфор, ассоциируются с самыми мелкими гранулометрическими фракциями, поскольку более мелкие частицы обычно имеют большую удельную связывающую способность для всех видов сорбентов. На уровне структуры почвы в сорбции участвуют именно частицы, расположенные на поверхности агрегатов. Именно они содержат больше соединений, по сравнению с частицами их внутреннего ядра агрегатов. Поэтому эрозионные потери почвы (в частности глинистых и пылеватых частиц, а также мелких агрегатов) могут становиться основной причиной выноса элементов с сельскохозяйственных полей.

В рамках работы, мы проанализировали склон восточной экспозиции в Учебно-опытном почвенно-экологическом центре МГУ Чашниково (УОПЭЦ Чашниково, Солнечногорский район Московской области). Объектом исследования стали распаханнные дерново-подзолистые почвы. Были отобраны по три образца на вершине склона, на самом склоне, и у подножия склона. Каждый образец был разделён на воздушно-сухие агрегаты (>5 мм, 5-2 мм, 2-1 мм, и <1 мм диаметром), после чего в них проанализировали валовый состав элементов на рентген-флуоресцентном анализаторе (РФА).

В целом, значения большинства проанализированных элементов ниже предельно-допустимых концентраций, за исключением серы, мышьяка и свинца (в отдельных образцах). Источником загрязнения можно предварительно назвать органические удобрения (в частности вносимый на поля конский навоз) и атмосферное загрязнение.

По результатам статистического анализа, было отмечено, что все элементы можно поделить на несколько групп. Первая группа, это элементы, на валовое распределение которых влияет и расположение относительно склона, и размер агрегатов (p-value <0,05). Среди них можно выделить цинк, рубидий, стронций и железо. Максимум данных элементов приурочен к вершине, минимум – к подножию склона. Кроме того, аккумуляция приурочена к агрономически ценным агрегатам 5-2 мм диаметром, а минимум приурочен к самым крупным, более 5 мм диаметром.

Во второй группе оказались элементы, на которые влияло только расположение, например, цирконий, ниобий, титан, хром, бром, алюминий. Здесь также отмечен вынос у подножия склона, а максимум приурочен к вершине. Склоновые почвы либо занимали промежуточное положение, либо были идентичны вершинным.

Таблица 1. Распределение тяжёлых металлов в агрегатах относительно склона, мкг/г.

Расположение	Агрегаты мм	Zn	Pb	Sr	Zr	Cu	Ni	As
Вершина	>5	58±4	16±3	137±3	473±10	18±1	26±6	6±1
	5-2	67±3	19±2	146±3	502±12	18±5	20±6	3±3
	2-1	69±2	21±2	143±2	476±21	19±6	22±2	4±4
	<1	64±2	19±3	139±3	461±13	21±9	23±4	3±3
Склон	>5	56±5	26±13	133±7	483±23	17±3	22±4	6±1
	5-2	62±6	19±3	139±4	487±33	16±3	22±4	6±1
	2-1	62±2	18±4	141±1	501±18	17±5	23±2	7±2
	<1	60±6	18±3	140±4	491±17	13±3	21±3	5±4
Подножие	>5	52±6	18±2	128±6	432±39	15±6	20±5	4±2
	5-2	56±1	33±10	132±2	428±30	16±3	20±6	5±1
	2-1	58±6	48±42	129±6	412±41	18±3	19±3	6±6
	<1	57±14	29±21	125±3	391±35	19±2	20±4	4±4

К третьей группе, чье распределение зависит только от размера агрегатов, был отнесен только марганец. Статистически достоверно ($p=0,0053$) выявлено, что марганец преимущественно накапливается в агрегатах 2-1 и 1 мм диаметром, по сравнению с самыми крупными агрегатами (>5 мм диаметром).

К последней группе относятся микроэлементы, перераспределение которых не зависит от исследуемых факторов. Среди них медь, никель, галлий, мышьяк, иттрий.

Данное исследование показывает, что перераспределение многих микроэлементов и макроэлементов совпадало с перераспределением органического вещества и фосфора в данных почвах. Подножие склона выполняет транзитную функцию, что может приводить к загрязнению нижележащего водоёма. При этом, некоторые элементы, такие как цинк (отличающийся высокой мобильностью в целом), рубидий, стронций и железо склонны к аккумуляции в агрономически ценных воздушно-сухих агрегатах. Таким образом, улучшение структурного состояния пахотных почв может помочь снизить вынос этих элементов при эрозионных процессах.

УДК 631.417.1

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ

Дубровина И.А.¹, Медведева М.В.², Мошкина Е.В.², Мамай А.В.²

¹Институт биологии КарНЦ РАН, e-mail: vorgo@mail.ru; ²Институт леса КарНЦ РАН

Изменение землепользования влияет на количество органического углерода в почве и может вести как к потерям, так и к накоплению органического вещества. Преобразование пахотных земель в пастбища или леса предлагается как многообещающий способ связывания атмосферного углерода в почвах. Однако существует значительное противоречие между исследованиями, показывающими рост содержания углерода почвы при восстановительной сукцессии в лесах, и результатами, отмечающими серьезное снижение запасов углерода почв под естественной растительностью. Запасы углерода в сельскохозяйственных почвах изучают значительно реже, чем в лесных экосистемах, при этом потери углерода почвы, вызванные изменением землепользования, могут быть переоценены.

В данной работе представлены исследования морфологии, химических свойств и запасов органического углерода пахотных почв среднетаежной подзоны Карелии. Выбирали участки со старопахотными почвами нормального увлажнения, сформированными на различных почвообразующих породах, как зональных (песчаная и суглинистая фенноскандинавская морена), так и азональных (продукты разрушения шунгитов и малиновых кварцитов). Для сравнения, на генетически близких естественных почвах, не подвергавшихся агрогенной трансформации, были исследованы участки зрелых лесов в качестве контроля. В полнопрофильных разрезах производили морфологическое описание почв, отбирали образцы почв по горизонтам и в прикопках ($n = 6$). В почвах определяли содержание и запасы органического углерода ($C_{орг}$) в слое 0–100 см, плотность сложения (ρ), кислотность (pH_{KCl}), содержание общего азота ($N_{общ}$) по Кьельдалю, подвижного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) по Кирсанову, сумму обменных оснований (S) по Каппену-Гильковицу и соотношение C/N . В лесах определяли также запас углерода в подстилках.

Агрогенная трансформация ведет к значительному изменению морфологического строения почв пашен, они относятся к отделах агроземов, сратоземов и к агропочвам в отделах естественных почв. Сельскохозяйственное использование оказывает наибольшее влияние на строение и свойства верхних почвенных горизонтов и вызывает сдвиг физико-химических показателей. Независимо от почвообразующей породы на почвах пашен значительно снижается кислотность, происходит накопление доступного фосфора и калия, а также обменных оснований по сравнению с лесными участками. Содержание $C_{орг}$ в верхних минеральных горизонтах почв пашен может быть как больше, так и меньше (или оставаться

без изменений) по сравнению с лесными почвами. Данный показатель зависит от базового содержания углерода в породах. На участках пашни накапливается от 138 до 272 т С/га углерода. Запасы углерода почв пашни превышают запасы на всех контрольных участках лесов, запасы $C_{орг}$ в которых составляют от 39 до 103 т С/га в минеральной части или от 60 до 116 т С/га вместе с подстилками. В почвах лесных участков меньше как общие запасы углерода, так и вклад слоя 50–100 см, $C_{орг}$ концентрируется в верхней части почвенного профиля. Большие запасы углерода пашен обеспечены за счет повышенной плотности и равномерного распределения $C_{орг}$ в профиле почвы. Полученные результаты подтверждают данные о том, что при длительном окультуривании, запасы $C_{орг}$ почвы могут значительно превышать фоновые значения, характерные для естественных почв. Обработка почвы, вероятно, не связана с сильным снижением содержания углерода, поскольку способствует более глубокому проникновению органического вещества из верхнего слоя почвы, что снижает его потери. Исследования запасов углерода, основанные только на верхних слоях почв, недооценивают запасы $C_{орг}$ на сельскохозяйственных угодьях.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ «КарНЦ РАН» в рамках госзадания № FMEN-2022-0012.

УДК 911.9

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ФРАКЦИЯХ РМ1 и РМ1-10 ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Енчилик П.Р., Семенков И.Н., Безбердая Л.А., Васильчук Дж.Ю., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, polimail@inbox.ru

В эколого-геохимических исследованиях усиливается интерес к микрочастицам тонких фракций диаметром <1 и <10 мкм (РМ1 и РМ1–10, соответственно) как важнейших компонентов дорожной, городской и атмосферной пыли, а также почв и носителей токсичных для здоровья человека веществ и способных длительно находиться в воздухе и переноситься на дальние расстояния. Предварительное ультразвуковое диспергирование (УЗ) при выделении частиц РМ1 и РМ1–10 центрифугированием позволяет регулировать уровень разрушения почвенных микроагрегатов посредством контроля времени обработки суспензии. Однако недостатком данного метода является нестандартизованность времени воздействия и отсутствие информации о том, как ультразвук влияет на частицы с различными свойствами и составом. В настоящем исследовании показано влияние ультразвукового диспергирования на химический состав частиц РМ1 и РМ1–10, выделяемых из грубогумусового горизонта дерново-подзолистых почв (Retisols) Центрально-Лесного заповедника.

На двух участках междуречья и склона, отдаленных друг от друга на 120 м, грубогумусовый (ао) горизонт почв опробован в июне и ноябре 2017 г. в девятикратной и четырёхкратной повторности соответственно (всего 22 образца; координаты места отбора: $56^{\circ}27'48.7''$ с.ш., $32^{\circ}57'45''$ в. Для гранулометрического фракционирования сделан один смешанный образец. В исходных валовых образцах определен элементный состав и физико-химические свойства. В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ (ЭГЦ) измеряли величину рН почв рН-метром «ЭКСПЕРТ-рН» (Россия), содержание органического углерода ($C_{орг}$) – методом бихроматного окисления по И.В. Тюрину с титриметрическим окончанием, гранулометрический состав – на лазерном гранулометре «Analysette 22 comfort» (Fritsch, Германия). Из смешанного высушенного и подготовленного образца горизонта ао брали навески массой 5 г в двукратной повторности. К навеске добавляли около 100 мл дистиллированной воды (соотношение твердая фаза: вода не менее 1:15). Полученную

суспензию истирали резиновым пестиком до однородного состояния и диспергировали тремя способами: 1 – без озвучивания; 2 – однократно озвучив в течение 2 минут непосредственно перед первым центрифугированием фракции РМ1 и РМ1-10; 3 – многократно озвучив в течение 2 минут непосредственно перед каждым запуском центрифуги. Гранулометрические фракции РМ1 и РМ1-10 выделяли на центрифуге «ОС-6МЦ» (ДАСТАН, Киргизия), расчёт времени и скорости оборотов – в программе «Centriset» и для исследованного типа почв проверяли экспериментально. Полученные суспензии с фракциями РМ1 и РМ1-10 фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм (EMD Millipore, Берлингтон, США). В фильтрах с фракциями РМ1 и РМ1-10 почв и дорожной пыли определяли содержание Li, Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Cd, Sn, Sb, La, W, Pb, Bi, Th в лаборатории ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского с помощью системы Elan-6100 ICP-MS System (масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой PerkinElmer Inc., США) и Optima-4300 DV ICP-AES System (атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой PerkinElmer Inc., США). Для диагностики почвенных минералов в гранулометрической фракции РМ1 использован количественный рентгенодифракционный анализ по методу Ритвельда. Обработка данных выполнена в программах Statistica и MS-Excel. Элементный состав валовых образцов почв сравнивали с кларками верхней части континентальной земной коры, путем расчёта кларка концентрации (КК): $КК = C/K$, где C – содержание химического элемента в микрочастицах, K – кларк верхней части земной коры по Rudnick, Gao (2014). Для определения значимости различий (при $p < 0,05$) элементного состава валового образца и образцов выделенных гранулометрических фракций при разных вариантах пробоподготовки выполнен непараметрический тест Манна-Уитни. Для определения степени различий элементного состава выделенных фракций рассчитана относительная погрешность, в качестве порогового уровня выбрано значение в 3 относительные погрешности (3s) относительно среднего содержания.

Грубогумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы Центрально-Лесного заповедника имеет кислую реакцию среды ($pH 5,2 \pm 0,4$), содержит $19 \pm 6\%$ Сорг. В составе гранулометрических фракций преобладает крупная пыль ($39 \pm 9\%$). На долю частиц РМ1 и РМ1-10 приходится $1,4 \pm 0,4$ и $16 \pm 4\%$ соответственно. В валовом образце гор. ао изученных дерново-подзолистых почв содержится околосларковое количество небольшой группы элементов (Ti, Zn, Zr, Nb, Sn, Sb, Ba, Hf, Tl, Bi, Th, U) и понижено содержание абсолютного большинства химических элементов, что связано с его формированием на валдайских покровных суглинках.

Относительно кларка повышено содержание только $Cd_{8,3} Ag_{3,6} Mn_{2,5} Pb_{2,2} Sb_{2,1}$ (цифра – значение КК).

При выделении частиц РМ $<$ 1 из дерново-подзолистых почв без использования УЗ концентрация большинства микроэлементов не изменяется или уменьшается относительно валового образца из-за плотно сцементированных микроагрегатов, связывающих многие тяжелые металлы и металлоиды. Так, во фракции РМ1, выделенной центрифугированием без предварительного озвучивания, относительно валового образца значимо выше содержание Li, Cs и ниже – Mn, Cu, Ca, Sn, большинства редкоземельных элементов, а также Co, Th, Zn, Zr, Hf ($p < 0,05$) и ряда тяжелых металлов и металлоидов (ТММ): Be, Sc, V, Ni, Ga, As, Rb, Sr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Ta, W, Tl, Pb, Bi, U. В минеральном составе фракции РМ1 гумусового горизонта дерново-подзолистых почв преобладают смешанослойные минералы группы иллит-сметтит – 28%, сметтит – 15,3% и иллит – 9,6%. Доля кварца составляет 25%, меньшую долю составляют калиевые полевые шпаты – 10%, каолинит – 6,7% и плагиоклазы – 5,4%. Относительно валового образца во фракции РМ1, выделенной при однократном озвучивании, значимо увеличивается выход Ta, Tl, W, Cs, Cr, Ga, V, As, Rb, Li, Sc, Mo, Nb, Be, Mg, Fe, U, Al, K и уменьшается – только Ca, Ni, что отражает разрушение плотно сцементированных микроагрегатов. Многократное озвучивание снижает концентрации

большинства элементов во фракции $PM < 1$ из-за разрушения лабильных глинистых минералов с пониженной устойчивостью в кислых почвах, богатых органическим веществом. Однократное озвучивание перед выделением частиц $PM1-10$ относительно валового образца не влияет на концентрации большинства элементов, значимо увеличивая выход Ta, Tl, W, Cs, Cr, Ga, V, As, Rb, Li, Sc, Mo, Nb, Be, Mg, Fe, Al, K и уменьшая – только Au, Ca, Ni.

Во фракции $PM1-10$ горизонта ао дерново-подзолистой почвы, полученной только при механическом истирании, без использования УЗ, содержание большинства микроэлементов не отличается от валового образца ($p > 0,05$). При таком варианте пробоподготовки вместе с частицами $PM1-10$ выделенную фракцию могут составлять сцементированные микроагрегаты как более крупных частиц, обедненных элементами, так и более тонких – обогащенных, что уравнивает итоговый элементный состав.

Однократного озвучивания достаточно для увеличения выхода большинства микроэлементов во фракцию $PM1$, поскольку в горизонте ао исследуемых почв повышенное содержание Сорг и более кислая среда подавляют образование прослоек гидроксида алюминия в лабильных минералах и снижают их устойчивость. Поэтому при разрушении кристаллической решётки каолинитов и хлоритов с низкой сорбционной способностью снижается концентрация большинства элементов, что достигается при многократном озвучивании. В связи с этим, при выделении микрочастиц из дерново-подзолистых почв южно-таежных ландшафтов достаточно однократного озвучивания образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ № 19-77-30004-П.

УДК 631.4

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОРБЦИИ И ДЕСОРБЦИИ $Pb(II)$ МИНЕРАЛЬНЫМИ ГОРИЗОНТАМИ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДЕРНОВО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЫ

Ильичев П.А., Столярова А.А., Изосимова Ю.Г., Толпешта И.И., Карпухин М.М., Суханова Н.И.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, stolarova-tonya@mail.ru

Сорбционная способность почв в отношении тяжелых металлов определяет ее устойчивость к загрязнению, а также пути и формы миграции элементов в другие компоненты экосистемы. В условиях повышенной антропогенной нагрузки происходит значительное увеличение содержания свинца в почвах. Слоистые алюмосиликаты, гидроксиды железа и органическое вещество почв являются наиболее активными компонентами, определяющими закономерности сорбции металлов почвами. В результате многолетних исследований в научной литературе накоплен обширный материал о способности разных почв сорбировать тяжелые металлы, но вопрос о механизмах связывания свинца почвой остается дискуссионным.

Закономерности сорбции $Pb(II)$ были изучены до и после обработки образцов, отобранных из минеральных горизонтов аллювиальной дерново-глеевой почвы Центрально-Лесного заповедника, перекисью водорода и реактивом Мера и Джексона. Сорбция свинца почвой проводилась из раствора нитрата свинца в диапазоне концентраций 0,0005 – 0,5 ммоль/л. Эксперименты проводились при соотношении твердая фаза: раствор 1 к 10, pH 5,2-5,4, при постоянной ионной силе. Образцы почвы, на которой сорбирован свинец, высушивали, а затем использовали в серии последовательных экспериментов по десорбции свинца дистиллированной водой (водорастворимая фракция) и раствором 1М CH_3COONH_4 (обменная фракция).

Для почвенных образцов без обработок наибольшая сорбция свинца и степень извлечения выявлены в горизонте АУ, а наименьшая – АВg. Вклад органического вещества в сорбцию свинца в горизонте АУ ограничивается низкими значениями pH (5,2), при которых функциональные группы в значительной степени протонированы. После обработки образцов

из горизонта АУ 10 % раствором H_2O_2 сорбция практически не изменилась. Удаление из этого горизонта несиликатных соединений железа привело к увеличению сорбции Pb(II), что может быть вызвано освобождением дополнительного количества сорбционных центров на глинистых минералах, ранее заблокированных несиликатным железом. После последовательной обработки H_2O_2 и реактивом Мера-Джексона сорбция Pb(II) уменьшилась. В горизонтах АВg и ВDg после обработки 10 % H_2O_2 сорбция Pb(II) увеличивается за счет удаления органических пленок с несиликатных соединений железа. После обработки реактивом Мера-Джексона в горизонте АВg сорбция резко увеличивается, в горизонте ВDg – не изменяется. После последовательной обработки почвы горизонтов АВg и ВDg сорбционные свойства почвы значительно уменьшаются.

Результаты последовательной экстракции свинца из почвы дистиллированной водой и 1М раствором ацетата аммония показали, что свинец преимущественно сорбируется в обменной форме (до 65 %). В дистиллированную воду экстрагировалось менее 0,5 % от общего количества сорбированного Pb(II).

На основании проведенных экспериментов можно заключить, что во всех изученных горизонтах при pH 5,2-5,4 основную роль в сорбции свинца играют несиликатные соединения железа и глинистые минералы. Наиболее прочно свинец удерживается на глинистых минералах и несиликатных соединениях железа. Органическое вещество в условиях проведенного эксперимента удерживает Pb(II) менее прочно по сравнению с минеральными фазами.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания МГУ №121040800154-8.

УДК 631.416.9; 631.95

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНОГО ЦИНКА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ ЦИНКОВЫХ УДОБРЕНИЙ

Леднев А.В, Ложкин А.В.

УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Цинк является одним из важнейших микроэлементов минерального питания растений. Биологическая роль цинка связана с его участием в ферментативных реакциях, протекающих в клетках. Он входит в состав важнейших ферментов: карбоангидразы, различных дегидрогеназ, фосфатаз, связанных с дыханием и другими физиологическими процессами, протеиназ и пептидаз, участвующих в белковом обмене, ферментов нуклеинового обмена (РНК- и ДНК-полимераз) и других. Цинк играет существенную роль в синтезе молекул информационной РНК на соответствующих участках ДНК (транскрипция), в стабилизации рибосом и биополимеров (РНК, ДНК, некоторые белки). С другой стороны, в случае превышения его содержания в почве, он начинает оказывать негативное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных растений и поэтому, в этом случае, его относят к тяжёлым металлам первой группы опасности. В России ПДК для валовых форм цинка составляет 100 мг/кг, для подвижных форм – 23 мг/кг. Ориентировочно допустимые концентрации валового Zn для кислых суглинистых и глинистых почв ($pH_{КС} < 5,5$) – 110 мг/кг.

Одним из важнейших свойств почв является наличие у них буферности – способности противостоять внешним воздействиям, в частности, снижать концентрацию подвижных форм тех или иных химических элементов, переводя их в труднорастворимые соединения. С одной стороны, это снижает эффективность использования минеральных макро- и микроудобрений, а с другой стороны, позволяет получать экологически чистую продукцию на загрязнённых земельных участках, что особенно актуально в условиях усиливающегося техногенного воздействия на почвенный покров в индустриально развитых регионах РФ. Цель исследований – установить поглотительную способность дерново-подзолистых почв по отношению к цинку, одному из самых распространённых и опасных тяжёлых металлов.

Исследования проведены в лабораторном двухфакторном опыте, в 4-х кратной повторности. Фактор А – доза минеральных удобрений (NPK), фактор В – доза внесения цинка. Схема опыта представлена в таблице. Для опыта выбрана наиболее типичная почва для Удмуртской Республики – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая. Она предварительно была высушена до воздушно-сухого состояния и просеяна через сито с диаметром отверстий 3 мм. В каждый сосуд помещен (согласно расчету) 1 кг абсолютно-сухой почвы. После этого почва в сосудах была увлажнена до оптимальной влажности (соответствующей 60 % полной влагоёмкости), которая поддерживалась весь период наблюдений. Цинк и минеральные удобрения внесены в виде водных растворов. В первую очередь внесен цинк, а через неделю – удобрения. Интервал времени между внесениями компонентов был необходим для завершения химических и физико-химических реакций по закреплению в почве цинка.

Для внесения разных доз цинка использована его химически чистая соль с уксусной кислотой (ацетат). Данное соединение достаточно хорошо растворимо в воде, а анион уксусной кислоты не оказывает столь существенного действия на свойства почвы и урожайность тест-культуры, по сравнению с хлоридами и сульфатами. В качестве минерального удобрения выбрана нитрофоска марки А с соотношением азота, фосфора и калия 17:17:17. Через неделю после внесения удобрений проведён посев тест-культуры. В качестве тест-культуры использована редька масличная, так как она является стандартной культурой, рекомендованной для определения степени токсичности почв. Отбор почвенных образцов проведён после шестимесячного компостирования почвы, что соответствует средней продолжительности вегетационного периода в условиях Удмуртской Республики. Для определения содержания подвижных форм цинка в почве использовали аммонийно-ацетатный буферный раствор с pH_{KCl} 4,8, полученные результаты представлены в таблице. Почва до закладки опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} 4,9; Нг – 2,8 смоль/кг; S – 14 смоль/кг; содержание гумуса – 1,8 %, подвижного фосфора – 54 мг/кг, обменного калия – 57 мг/кг.

Между дозой внесения цинка и содержанием его подвижных форм в почве наблюдалась тесная прямая связь, коэффициент корреляции равнялся 0,89. Несмотря на то, что максимальная доза внесения цинка (500 мг/кг) соответствовала 5 ПДК, равное 100 мг/кг или 4,5 ОДК для кислых суглинистых почв (110 мг/кг), содержание его подвижных форм лишь в варианте с внесением минеральных удобрений несколько превышало показатель ПДК равный 23 мг/кг. Всё это свидетельствует о сильном закреплении Zn^{2+} дерново-подзолистыми суглинистыми почвами. Процент извлечения этого элемента из почвы во всех вариантах опыта был небольшим и колебался от 0,8 до 11,2 % от дозы его внесения.

Максимальные значения процента извлечения цинка наблюдались в вариантах с дозой внесения 2,5 мг/кг (на фоне без удобрений) и 11,25 мг/кг (на фоне N60P60K60). Внесение минеральных удобрений не оказало четко выраженного влияния на этот показатель, в одних случаях, оно увеличивало степень подвижности цинка, в других случаях – её уменьшало.

Таблица – Изменение содержания подвижного цинка в почве в зависимости от дозы его внесения, мг/кг

Доза внесения Zn в почву, мг/кг (ф-ор В)	Доза минеральных удобрений (ф-ор А)			
	Без удобрений		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	
	мг/кг	процент от дозы внесения	мг/кг	процент от дозы внесения
0	0,02	-	0,03	-
0,5	0,04	8,0	0,10	20,0
0,75	0,09	12,0	0,11	14,7
1	0,11	11,0	0,14	14,0
1,25	0,18	14,4	0,15	12,0
1,87	0,25	13,4	0,17	9,1
2,5	0,30	12,0	0,19	7,6

5	0,33	6,6	0,28	5,6
10	0,35	3,5	0,34	3,4
25	0,64	2,6	0,41	1,6
50	1,66	3,3	0,83	1,7
100	2,75	2,8	2,61	2,6
200	5,63	2,8	4,61	2,3
300	10,85	3,6	13,49	4,5
400	20,39	5,1	30,45	7,6
500	30,07	6,0	40,51	8,1
НСП ₀₅ част. раз. - 2,84; НСП ₀₅ по ф-ру А - 0,71; НСП ₀₅ по ф-ру В - 2,01				
ПДК	23			

Урожайность редьки масличной в опыте колебалась от 19,67 (в контрольном варианте без цинка и удобрений) до 44,81 г/м² абс.сух. массы (в варианте с внесением минеральных удобрений и цинка в дозе 25 мг/кг почвы). Очень высокие дозы внесения цинка (500 мг/кг) не оказали токсического действия на тест-культуру, урожайность, полученная в этих вариантах, находилась на уровне контролей (без цинка).

Заключение. Дерново-подзолистые почвы характеризуются большой поглотительной способностью по отношению к цинку, даже в вариантах с очень высокими дозами внесения (до 5 ПДК по вал.ф.), содержание его подвижных форм в почве, в большинстве случаев, не превышало ПДК (23 мг/кг). Процент перехода этого элемента в подвижную форму во всех вариантах опыта был небольшим и колебался от 0,8 до 11,2 % от дозы его внесения.

Минеральные удобрения не оказали четко выраженного влияния на этот показатель, в одних случаях они увеличивали степень подвижности цинка, в других случаях – её уменьшали.

УДК 631.417.7:631.445.11:550.43

УГЛЕВОДОРОДЫ В ФОНОВЫХ ПОЧВАХ ТУНДРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ

Лодыгин Е.Д.¹, Алексеев И.И.^{1,2}, Нестеров Б.А.¹

¹Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, lodigin@ib.komisc.ru

²Арктический и Антарктический исследовательский институт, Санкт-Петербург

В Республике Коми интенсивно эксплуатируются крупные нефтегазовые месторождения, главным образом в северных регионах. Добыча углеводородного сырья значительно осложняет экологическую ситуацию территорий. По разным причинам природные среды оказываются перегруженными углеводородами (УВ). При оценке загрязнения почв УВ по существующим нормативам требуется расчет коэффициента концентрации загрязняющего компонента, равного кратности превышения содержания данного компонента над фоновыми значениями или ПДК и ОДК. Анализ инструктивно-методической литературы, регламентирующей допустимые нагрузки УВ (нефтепродуктов) на почвы, позволяет констатировать, что в Российской Федерации, а также в Республике Коми, современная нормативная база по содержанию УВ в почвах ограничена и не дифференцирована по природно-климатическим зонам, поэтому не может быть использована на конкретных территориях при проведении экологических экспертиз. Поэтому оценка естественного фона содержания УВ в тундровых почвах является актуальной задачей, решение которой позволит объективно определять загрязнение почв и своевременно ввести ограничения на промышленные технологии добычи, транспортировки и переработки нефти.

Для ландшафтно-геохимической оценки фонового содержания УВ было проведено обследование тундровых почв Республики Коми. Оцифрованная Государственная почвенная карта (лист Q-40, масштаб 1:1000000) послужила основой для составления систематического списка почв, расчета их площадей, определения координат – точек закладки реперных разрезов и отбора смешанных образцов зональных и интразональных почв. Этот район

занимает площадь свыше 28 тыс. кв. км. Наиболее распространенными почвами исследованной территории являются: болотно-подзолистые – 25.6 %, тундровые – 21.9 %, горные – 17.2 %, болотные – 11.7 %, горно-тундровые иллювиально-гумусовые – 10.5 %, глееподзолистые – 9.9 % и торфяно-тундровые глеевые – 9.8 %.

При отборе почвенных образцов был использован маршрутный метод, позволяющий учитывать закономерности формирования почвенного покрова в ландшафтах.

Количественный химический анализ в образцах почв выполнен в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта. Концентрацию УВ в пробах почв определяли согласно ПНД Ф 16.1:2.21-98, по значению интенсивности флуоресценции гексанового экстракта, измеренной на анализаторе жидкости «Флюорат-02». Установлено, что диапазон фоновых колебаний содержания УВ, с уровнем значимости 0.5, близки для суглинистых болотно-подзолистых и глееподзолистых почв. Это связано с единством пород, близким гранулометрическим составом почв на покровных суглинках и едиными закономерностями миграции УВ в ландшафте. Аналогичные закономерности массовой доли УВ отмечены в почвах, сформированных на древнеаллювиальных и водноледниковых песчаных отложениях и на слабодренированных равнинных водораздельных увалах, флювиогляциальных террасах, покрытых песчаными отложениями, но абсолютное содержание УВ в этих почвах (болотно-подзолистые иллювиально-гумусовые) ниже, чем в почвах, образованных на суглинистых почвообразующих породах. Для горных почв характерны отрицательные значения асимметрии и незначительное накопление УВ.

Результаты содержания УВ в изучаемых почвах позволили установить аккумуляцию их в органогенных и подстилочных горизонтах. Они служат геохимическим барьером на пути миграции УВ в пределах профиля. Уровни фоновых концентраций углеводов неодинаковы для почв разных элементов ландшафта. Повышенное содержание УВ характерно для болотно-подзолистых почв. Эти почвы занимают аккумулятивные и элювиально-аккумулятивные ландшафты (плоские депрессии и водоразделы, слабо дренированные увалы и пологие склоны, межувальные понижения и окраины болот), где в условиях периодически возникающего анаэробногения и медленного разложения растительных остатков происходит естественное накопление УВ в процессе почвообразования. Аккумуляция УВ в болотно-подзолистых почвах может быть связана также и с активным латеральным привносом из окружающих ландшафтных компонентов. В органогенных горизонтах болотно-подзолистых почв, сформированных на покровных суглинках, содержание углеводов колеблется в интервале от 21 ± 8 до 120 ± 50 мг/кг. В подзолах, сформированных на разновозрастных террасах рек древнеаллювиальных преимущественно мелкозернистых кварцевых песках, массовая доля УВ в среднем составляет 8 ± 3 мг/кг, в болотно-подзолистых иллювиальных почвах на слабодренированных равнинных водораздельных увалах, флювиогляциальных террасах, покрытых песчаными наносами – в пределах от 10 ± 4 до 15 ± 6 мг/кг.

Полученные результаты будут логическим дополнением базы данных «Содержание тяжелых металлов, углеводов и радионуклидов в почвах таежной и тундровой зон Европейского северо-востока России», размещенной на сайте Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН <http://ib.komisc.ru/db/heavymetal>.

Подготовленная база данных необходима для разработки и принятия управленческих решений по решению экологических проблем Арктики и Субарктики, при решении вопросов исчисления ущерба, вызываемого нарушением почв, а также для кадастровой оценки почв при расчете земельных платежей с учетом их экологического состояния.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 24-24-00144.

УДК 631.412

ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ

Пинский Д.Л., Шарый П.А.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, Пущино, pinsky43@mail.ru

Загрязнение почв соединениями тяжелых металлов (ТМ) представляет одну из наиболее важных современных экологических проблем. Это связано их биотоксичностью, малой подвижностью многих из них, способностью накапливаться в почвах в высоких концентрациях и чрезвычайно медленными процессами самоочищения загрязненных почв. Так, уменьшение концентрации ТМ в почвах в результате самоочищения в 2 раза в зависимости от типа почвы и свойств металла составляет для Cd– 13–110 лет, Zn 70–510 лет, Hg 250 лет, Cu 310–1500 лет, свинца 770–5900 лет при сохранении их токсических свойств. Такие металлы как Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn относятся к приоритетным загрязнителям, требующим первоочередного контроля. Загрязнение сельскохозяйственных почв ТМ является одной из самых обсуждаемых проблем в дебатах о безопасности пищевых продуктов в Европе и во всем мире. Особое беспокойство вызывает загрязнение почв медью. Она широко используется в промышленности и в сельском хозяйстве в качестве фунгицида. Медь также является основным компонентом многих химических микроудобрений, ядохимикатов, присутствует в высоких концентрациях в осадках сточных вод и свином навозе. При систематическом применении Cu в качестве фунгицида концентрации металла в сельскохозяйственных почвах достигают 3216 мг/кг.

По разным оценкам от 11 до 18% почв России имеют высокие уровни техногенного загрязнения этими элементами, значительно превосходящими фоновые значения. При этом техногенные потоки многих ТМ в настоящее время многократно превышают естественные. В связи с этим возникает необходимость постоянного мониторинга уровня загрязнения почв ТМ и Cu, в частности. Нормирование ТМ в почвах является неотъемлемой частью мониторинга ее состояния. Поэтому в развитых странах действуют нормы содержания ТМ в почвах. В России также приняты государственные стандарты, в которых установлены предельно и ориентировочно допустимые концентрации (ПДК и ОДК) ряда ТМ в почвах. Все эти нормативы определены эмпирическим путем и, потому, сильно различаются между собой. Так ПДК_{Cu} в почвах Нидерландов допускают загрязнение в пределах 36-500 мг/кг, в Финляндии 150-200 мг/кг, в России 33-132 мг/кг. Для почв России приняты наиболее жесткие по сравнению с зарубежными странами величины ПДК, которые практически невозможно выдержать в условиях крупных промышленных и сельскохозяйственных агломераций. Целью настоящих исследований является разработка научно обоснованного метода оценки ПДК ТМ в почвах, учитывающего состав и свойства почв, свойства металла и растений, произрастающих на загрязненных почвах.

В многофакторном вегетационном эксперименте с использованием верхних гумусовых горизонтов (0–20 см) серой почвы с опытной полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (Московская область) и чернозема обыкновенного карбонатного из особо охраняемой природной территории Персиановская степь (Ростовская область), почвенно-песчаных субстратов на их основе (в дальнейшем почв) и ацетата меди изучена взаимосвязь морфометрических характеристик (изменения длины корней, надземной части и сухой биомассы растений) ячменя ярового сорта “Ратник” (*Hordeum sativum distichum*) с составом и свойствами почв, загрязненных разными дозами ацетата меди.

С использованием методов множественной регрессии было получено уравнение с тремя переменными:

$$MX = - aC_{Cu} + bQ_{buf} - c \ln(C_{Cu}) + d, \quad (1)$$

где: MX – морфометрическая характеристика растений (L_R – длина корней, см; L_{abg} – длина надземной части, см; W – сухая биомасса растений, г/сосуд); C_{Cu} – валовая концентрация Cu

в почвах и субстратах, мг/кг; Q_{buf} – буферность, баллы; a, b, c, d – положительные коэффициенты уравнения (1), рассчитанные из экспериментальных данных. Примем, что критические значения MX_0 , соответствующие 15%-ному снижению морфометрических показателей относительно контроля, отвечают величине ПДК_{Cu} в исследуемых почвах. Тогда заменим MX_0 символом длины надземной части L_{abg0} и после небольшого преобразования получим уравнение для этого показателя:

$$Q_{\text{Buf}} = [aC_{\text{Cu}} + c \ln(C_{\text{Cu}}) - (d - L_{\text{abg0}})] / b \quad (2)$$

Подставив в уравнения (2) значения постоянных a, b, c, d и рассчитав величину буферности почв по отношению к ТМ по данным анализов, построим зависимость $Q_{\text{Buf}} = f(C_{\text{Cu}})$, которую назовем «кривой ПДК_{Cu}», рис. 1.

Буферность почв по отношению к ТМ включает сумму концентраций (%) гумуса (x_1), частиц < 0.01 мм (x_2), подвижных Fe и Al (x_3), карбонатов (x_4) и рН_{вод} (x_5). Ее легко рассчитать в баллах по уравнению (3), полученному после статистической обработки параметров, составляющих буферность почв, включая один из морфометрических показателей ячменя ярового – длину надземной части растения:

$$\text{Buf}_{(\text{new})} = 2,226 \cdot x_1 + 0,192 \cdot x_2 + 1,796 \cdot x_3 + 12,20 \cdot x_4 + 0,813 \cdot x_5 + 3,218 \quad (3)$$

Для определения ПДК_{Cu} необходимо провести горизонтальную линию на уровне $\text{Buf}_{(\text{new})}$ до пересечения с кривой ПДК_{Cu} (рис. 1) и найти соответствующие значения концентрации Cu на оси абсцисс, которые и будут соответствовать значениям ПДК.

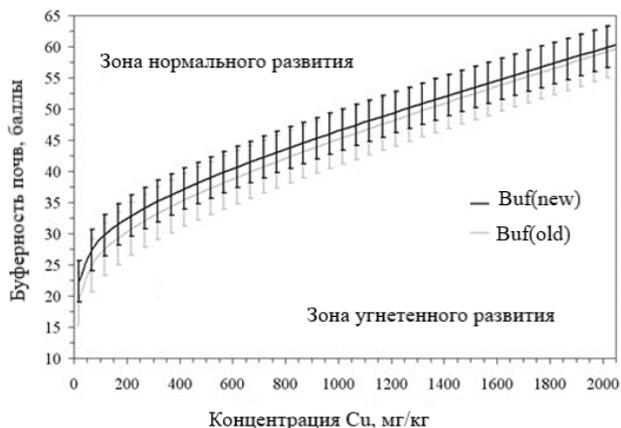


Рис. 1. Рассчитанные по уравнению (3) со статистической обработкой (Buf_{new}) и без обработки (Buf_{old}) кривые ПДК_{Cu} по уменьшению длины надземной части ячменя на 15%. Вертикальные линии показывают ошибки в Buf_{new} ($\pm 3,32$ балла) и в Buf_{old} ($\pm 4,24$ балла). Анализ предлагаемого метода и полученных данных показал: 1) ПДК является функцией состава и свойств почв и не может иметь одни и те же значения для разных почв; 2) предлагаемый метод позволяет сознательно изменять состав компонентов буферности почв для достижения наибольшей точности при определении ПДК; 3) значение ПДК зависит от чувствительности тест-растения или иного сенсора, выбранного для оценки влияния ТМ на растения, животных или человека; 4) ПДК зависит от требований, предъявляемых человеком к реакции тест-растения на загрязнение почвы ТМ, например, к величине снижения длины надземной части ячменя при загрязнении почвы медью на 10 или 15%; 5) используемые в РФ ПДК_{ТМ} сильно занижены по сравнению с расчетными и зарубежными аналогами.

УДК 631.4

СОРБЦИЯ ИОНОВ CU(II)ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Пятава М.И.; Толпешта И.И., Изосимова Ю.Г.; Карпухин М.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, pyatova_maria@mail.ru

Медь является одним из наиболее приоритетных загрязняющих почву тяжелых металлов, возможность миграции которых в ландшафте определяется многими факторами. Важнейшим из них является сорбционная способность почв. В мировой литературе отсутствует исчерпывающая информация о закономерностях и механизмах сорбции тяжелых металлов почвами, без которой невозможно создание прогнозных моделей распределения тяжелых металлов в ландшафте и оценки риска загрязнений ландшафтов тяжелыми металлами. Правильное понимание задействованных в сорбции механизмов, знания о прочности закрепления тяжелых металлов почвами при разном минеральном составе твердой фазы почв, разных значениях pH, качественного и количественного состава органического вещества являются ключевым фактором для успешного создания и использования моделей, прогнозирующих сорбцию металлов почвой.

Цель исследования – выявить закономерности сорбции ионов Cu(II) минеральными горизонтами подзолистой почвами.

Задачи исследования.

Для выявления закономерностей сорбции ионов меди различными почвенными компонентами горизонтов подзолистой почвы провести эксперимент по сорбции ионов Cu²⁺ (Cu(NO₃)₂) до и после удаления из них органического вещества и несиликатных соединений железа;

Оценить вклад органического вещества, несиликатных соединений железа и глинистых минералов в сорбцию Cu(II) подзолистой почвой.

Объекты и методы исследования.

Объектом исследований являлись минеральные горизонты подзолистой почвы, отобранной в Центральном лесном природном биосферном заповеднике (ЦЛГПБЗ). Для выяснения механизмов сорбции ионов Cu(II), эксперименты проводили до и после обработки почвы и илистой фракции 10 % H₂O₂, реактивом Мера и Джексона и последовательной обработки перекисью водорода и реактивом Мера и Джексона. Все сорбционные эксперименты проводили при одинаковом значении pH=5 и ионной силе, равной 0,01 м/л. Содержание Сорг. определяли методом Тюринга с фотометрическим окончанием на спектрофотометре UNICO 1201, pH определяли потенциометрически с использованием иономера METTLER TOLEDO seven go pro. Концентрацию Cu определяли с помощью оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 5110. Сорбционные эксперименты проводились в трехкратной повторности. По результатам сорбционных экспериментов строили изотермы сорбции ионов Cu(II).

Результаты.

Для оценки роли органического вещества и несиликатных соединений железа в сорбции Cu(II) сравнение сорбционных возможностей образцов было проведено в расчете на единицу площади поверхности.

В изученном диапазоне концентраций исходный горизонт AEL сорбирует Cu (II) в большем количестве и более интенсивно, чем горизонты EL и ПВД. Обработка почвы 10 % H₂O₂ привела к уменьшению сорбции Cu(II) в расчете на 1 м² в горизонте AEL и EL. В большей степени уменьшение сорбции произошло в горизонте AEL. Значительное уменьшение сорбции в данном горизонте произошло в результате конкурентных взаимодействий Cu(II) с катионами, которые могли оказаться в растворе ввиду частичной трансформации глинистых минералов. После обработки почвы реактивом Мера и Джексона сорбция Cu(II) в расчете на 1 м² почвы увеличилась в горизонтах EL и ПВД, в горизонте AEL сорбция сопоставима с исходным горизонтом без обработок. При pH, свойственных горизонтам, и при pH < 5, при котором проведен эксперимент, поверхность гидроксидов железа в значительной степени была протонирована и, вероятно, не могла играть существенной роли в сорбции Cu(II).

Увеличение сорбции после обработки почвы реактивом Мера и Джексона можно объяснить разблокировкой сорбционных мест на глинистых минералах, которые наряду с органическим веществом обеспечивают высокую сорбцию Cu(II). Последовательное удаление органического вещества и несиликатных соединений железа вызвало существенное уменьшение сорбции Cu(II) в расчете на 1 м² почвы в горизонте АЕL по сравнению с исходной почвой. В горизонте ЕL обработка практически не повлияла на сорбционные характеристики, тогда как в горизонте ПВД сорбция меди увеличилась. Последовательные обработки привели к формированию фрагментов добавочной октаэдрической сетки, которые препятствуют полному сжатию решетки лабильных минералов до 1 нм после прокаливания образцов при температуре 350°С и наиболее значительному уменьшению содержания минералов с лабильной кристаллической решеткой.

Выводы

В подзолистой почве в горизонте АЕL вклад в сорбцию ионов меди в целом вносят органическое вещество и глинистые минералы, а сорбция ионов меди в горизонтах ЕL и ПВД преимущественно осуществляется только на глинистых минералах;

Преобладающими механизмами сорбции меди изученными горизонтами являются замещение протона функциональных групп на поверхности глинистых минералов и функциональных групп органического вещества. Тогда как механизм ионного обмена меди на катионы в ППК характерен только для горизонта АЕL после удаления из него органического вещества;

Обработка почвы 10% H₂O₂ и реактивом Мера и Джексона приводит к изменению площади поверхности, качества и количества сорбционных центров, к трансформации кристаллических решеток глинистых минералов. Эти изменения должны учитываться при оценке вклада компонентов почвы в сорбцию ионов металлов.

УДК 631.41:631.85:631.95

ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ И АГРОСЕРЫХ ПОЧВАХ

А.Р. Тамразова, Д.В. Манахов

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, anna.tamrazova2014@gmail.com

Исследование форм нахождения тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН) в почвах позволяет более полно оценить их влияние на природные экосистемы и здоровье человека. Кроме того, информация о распределении ТЕРН по формам нахождения необходима для оценки их биологической доступности при переходе в растения и прогноза их поведения при миграции в сопредельные среды. Это особенно важно для почв, которые используются в сельском хозяйстве, поскольку радионуклиды, попавшие в урожай, могут попадать в рацион питания человека. Важным источником поступления ТЕРН в биосферу вообще и сферу сельскохозяйственного производства в частности является использование фосфорных удобрений. В зависимости от типа исходного фосфорсодержащего сырья и технологических особенностей его переработки в удобрение может переходить практически весь уран-238 и значительная часть радия-226, тория-232 и других ТЕРН. Целью данного исследования было изучение форм нахождения радия-226, урана-238 и тория-232 и их влияния на миграцию в агродерново-подзолистой и агросерой почвах и сравнение их с почвами под лесом. Объектом исследования были взяты пахотные горизонты агродерново-подзолистой почвы на земельных угодьях и под лесом в Московской области и агросерой почвы на пашне и под лесом в Тульской области. Изучение форм нахождения ТЕРН проводилось методом последовательной экстракции Павлоцкой. Концентрации урана-238 и тория-232 измеряли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой непосредственно в почвенной вытяжке. Активность ²²⁶Ra определяли трехкратным измерением суммарной альфа-активности

препаратов BaSO₄ на альфа-радиометре с сцинтилляционным детектором ZnS(Ag). Значение активности ²²⁶Ra рассчитывали с учетом распада и накопления дочерних продуктов распада изотопов радия.

Было установлено, что пахотный горизонт агродерново-подзолистой почвы характеризуется более нейтральной реакцией среды, имеет большее количество органического углерода, большую степень насыщенности основаниями по сравнению с гумусовым горизонтом в почве под лесом. Величина гидролитической кислотности оказалась выше в гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы под лесными насаждениями. Если сравнивать суммарные активности исследуемых естественных радионуклидов, то значения больше в агродерново-подзолистой почве. Это связано с тем, что почва использовалась для сельскохозяйственных целей в течение длительного времени, в нее вносили фосфорные удобрения, которые содержат радионуклиды. Значения удельной активности радия-226 уменьшаются вниз по всему профилю. Максимальная его активность в пахотных горизонтах (31,51-36,64 Бк/кг). Активности урана-238 также выше в агродерново-подзолистой почве, чем в почве под лесом. Максимальное значение составляет в пахотных горизонтах (32,35-33,48 Бк/кг). Далее удельная активность уменьшается вниз по профилю и доходит до значений 14,30-15,81 Бк/кг. Суммарная удельная активность тория-232 незначительная, но также выше в агродерново-подзолистой почве, чем в почве под лесом. Максимальное значение достигает в пахотных горизонтах и равно 31,23-30,05 Бк/кг, а в дерново-подзолистой лесной почве активность тория-232 выше в переходном (AE) к подзолистому горизонту и составила 33,29 Бк/кг. Была проведена обработка данных для расчёта запасов радия-226, урана-238 и тория-232 в слое 0-39 см, который соответствует пахотному горизонту почвы под пашней. По расчётам запасов суммы подвижных фракций (водорастворимой, обменной и собственно подвижной) исследуемых радионуклидов, можно сказать, что в агродерново-подзолистой почве по сравнению с почвой под лесом дополнительно накапливаются все радионуклиды, за исключением тория-232. В пахотных горизонтах запас суммы подвижных фракций радия-226 больше почти в 1,4 раза, чем в соответствующем корнеобитаемом слое почвы под лесом. Кроме того, и суммарная удельная активность радия-226 больше в пахотных горизонтах. Запас суммы подвижных фракций урана-238 в пахотных горизонтах агродерново-подзолистой почвы в 3,6 раза превышает его количество в гумусовом горизонте почвы под лесом. Тория-232 в дерново-подзолистой почве под лесом больше в 3,4 раза, чем в агродерново-подзолистой почве.

Было установлено, что пахотный горизонт агросерой почвы имеет меньшее количество органического углерода по сравнению с серогумусовым горизонтом серой почвы под лесом. Он также характеризуется более нейтральной реакцией среды, большей насыщенностью почвенного поглощающего комплекса обменными основаниями и меньшей величиной гидролитической кислотности. По сравнению с серой почвой под лесом удельные активности естественных радионуклидов больше в агросерой почве, что может являться результатом внесения в почву минеральных удобрений с повышенным их содержанием. Радий-226 больше всего накоплен в агросерой почве в субэлювиальном горизонте (BEL) (58,03 Бк/кг). Для урана-238 наибольшее значение активности отмечается в пахотном (P1) и серогумусовом (AY) горизонтах агросерой и серой почвы под лесом соответственно. В обеих исследуемых почвах суммарная удельная активность тория-232 больше в горизонте BEL. В нижних горизонтах активность радионуклидов минимальная. В обеих почвах значение суммарной удельной активности наибольшее у тория-232. Суммарный запас подвижных фракций всех исследуемых радионуклидов выше в агросерой почве. Запас радия-226 в 1,6 раза, урана-238 в 3,2 раза, тория-232 в 3,5 раза.

Увеличение активностей и запасов суммы подвижных фракций ТЕРН в агродерново-подзолистой и агросерой почвах по сравнению с почвами под лесом указывает на поступление дополнительных количеств этих радионуклидов. Это может являться результатом продолжительного использования в агроценозах фосфорных удобрений с

повышенным содержанием ТЕРН. В отличие от других исследуемых радионуклидов радий-226 наиболее подвижен. Уран-238 труднее выщелачивается, но также образует подвижные соединения. Торий-232 более склонен к образованию труднорастворимых соединений. Можно предположить, что длительное и систематическое внесение фосфорных удобрений с повышенным содержанием естественных радионуклидов уже привело к накоплению в сельскохозяйственных почвах дополнительно к естественному фону их количеств и они до сих пор находятся в доступном растениям и относительно подвижном состоянии.

УДК 631.416.8

СТРОИТЕЛЬСТВО И ВАНАДИЙ В ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ ОРТШТЕЙНАХ ПОЧВ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Тимофеева Я.О.

Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, timofeeva@biosoil.ru

Почвенные железо-марганцевые ортштейны (ЖМО) являются распространенной формой марганцево-железистых конкреционных образований в почвах с переменным типом окислительно-восстановительного режима. Специфика строения, состава и свойств ортштейнов способствуют формированию высокой накопительной способности в отношении элементов с переменной валентностью, и позволяет рассматривать ЖМО как почвенные геохимические микробарьеры. Несмотря на активное освещение вопросов морфологического строения, состава и накопительной способности почвенных ЖМО в отношении ряда элементов, сведения о содержании, уровне накопления и особенностях аккумуляции Sr и V в почвенных ортштейнах весьма ограничены. По токсикологическим классификациям элементов разных стран и организаций класс опасности Sr и V варьирует от слабо опасного (Россия) до наиболее опасного (ООН). Результаты специализированных исследований указывают на взаимосвязь Sr и V в почвах с органическими и содержащими Fe и Mn соединениями и, на варьирование набора основных фаз-носителей Sr и V в зависимости от условий почвообразования и интенсивности техногенного воздействия на почвы. Целью настоящих исследований являлась оценка количественного содержания и уровня накопления Sr и V в ЖМО, формирующихся в природных и антропогенно-измененных почвах юга дальневосточного региона.

В работе проанализированы образцы ЖМО дерново-буро-подзолистых глееватых почв, отобранных на участках не подверженных влиянию прямого техногенного воздействия (природный биосферный заповедник “Кедровая падь”) и участков прилегающих к автодороге (федеральная автодорога М-60 Хабаровск – Владивосток), а также ЖМО сформированные в агротемногумусовых подбелах глееватых на протяжении 80 лет испытывающих воздействие минеральных удобрений. ЖМО выделяли из генетических горизонтов почв каждого участка методом мокрого просеивания, с дальнейшим отделением ортштейнов от примесей (осколки минералов, органические остатки) в лабораторных условиях. Содержание Sr и V и основных ортштейнообразующих элементов (Fe, Mn) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

В исследованных почвах ЖМО представлены бурными крупными и мелкими ортштейнами округлой и эллипсоидной формы с гладкой и мелкобугристой поверхностью. Наибольшее количество ЖМО сосредоточено в средней части почвенного профиля (max 254 г на кг вмещающей почвенной массы). В нижней части профиля отмечается резкое снижение содержания ЖМО (max 43 г на кг вмещающей почвенной массы). Неравномерность вертикального распределения ЖМО соответствует специфике внутрипрофильного развития окислительно-восстановительных реакций и проявления микроразнообразных окислительно-восстановительных процессов в почвах буро-подзолистого ряда региона проведения исследований. Размер выделенных ЖМО варьирует от 1 до 7 мм в диаметре, преобладающей

фракцией (76% от объема выделенных ЖМО) являются ЖМО размера 2-4 мм. По плотности цвету и химическому составу в ЖМО идентифицируются внутренняя и внешняя зоны. Внешняя зона ЖМО характеризуется более высокой плотностью, бурой и охристо-бурой окраской и преобладанием в составе Fe-обогащенных соединений. Внутренняя зона имеет более рыхлое сложение, темно-бурую окраску и содержит больше Mn-обогащенных соединений. Распределение Sr и V во внутренней части ЖМО имело недифференцированный характер и характеризовалось присутствием обогащенных элементами зерен однородно распределенных в объеме ЖМО, что указывает на постепенное включение Sr и V в состав ЖМО на всех стадиях их образования и развития.

Содержание Sr и V в ЖМО почв не подверженных влиянию прямого техногенного воздействия характеризовалось минимальным значением среди исследованных образцов ЖМО и варьировало от 77 до 95 мг/кг для Sr и от 72 до 160 мг/кг для V. Зависимость между содержанием и накоплением Sr и V в ЖМО и вмещающей почве была выражена величиной коэффициента накопления (EF) и указывала на наличие внутрипрофильной дифференциации интенсивности накопления Sr и V ортштейнами почв естественных экосистем.

Максимальные величины содержания и накопления Sr и V отмечены в ЖМО, сформированных в средней части почвенного профиля (EF_{Sr} 1.38, EF_V 2.09). В верхней и нижней части профиля таких почв содержание элементов в ЖМО было ниже по сравнению с вмещающей почвенной массой (EF_{Sr} 0.91, EF_V 0.72). По сравнению с ЖМО почв естественных экосистем, в ЖМО почв длительное время удобряемых минеральными удобрениями отмечено увеличение уровня содержания и интенсивности накопления Sr (193-312 мг/кг, EF 2.31) и V (99-241 мг/кг, EF 2.71) в ЖМО верхней и средней части профиля. По уровню содержания Sr (89-276 мг/кг) и V (70-203 мг/кг) ЖМО почв, сформированных в зоне эмиссии автотранспортных выбросов, занимали промежуточное положение между исследованными природными и пахотными почвами. Однако, интенсивность накопления Sr и V в ЖМО таких почв увеличивалась по всему профилю (EF_{Sr} 2.38-3.12, EF_V 2.33-2.92).

Установленные различия в уровне содержания и интенсивности накопления Sr и V в ЖМО почв с идентичным направлением основного почвообразующего процесса указывают на возможную активизацию различных реакционно-активных фаз в ЖМО при воздействии различных антропогенных факторов. Такими фазами, прежде всего, являются Fe- и/или Mn-обогащенные соединения. Содержание оксидов Fe и Mn в изученных ЖМО превышало их концентрацию во вмещающем почвенном мелкоземе от 1.54 до 7.91 раз и от 7.08 до 57 раз, соответственно. Для ЖМО исследованных почв отмечена общая тенденция в увеличении накопления Fe_2O_3 в ЖМО, формирующихся в верхней и средней части профиля и усилении интенсивности накопления MnO в ЖМО, формирующихся в нижней части профиля.

Специфика профильной дифференциации величин накопления Fe и Mn в ЖМО обоснована высокой подвижностью Mn в широком диапазоне значений окислительно-восстановительного потенциала. Максимальные уровни EF MnO были отмечены в ЖМО с минимальными величинами EF Fe_2O_3 . Некоторый антагонизм в накоплении Fe_2O_3 и MnO в ЖМО также подтверждается распределением элементов внутри исследованных ЖМО.

На основе корреляционного анализа установлено варьирование взаимосвязи между содержанием и накоплением Sr и V и содержанием Fe_2O_3 и MnO в исследованных ЖМО. В ЖМО почв не подверженных влиянию прямого техногенного воздействия содержание Sr и V статистически значимо коррелировало с содержанием соединений Fe (r 0.80). При этом уровень накопления V в ЖМО в большей степени взаимосвязан с содержанием Mn-обогащенных соединений (r 0.79). Величина коэффициента корреляции между уровнем накопления Sr и содержанием Fe и Mn в ЖМО имела схожие значения (r 0.83). Вероятно, в почвах естественных экосистем Fe-содержащие соединения являются основным источником поступления ионов Sr и V в ЖМО. Дальнейшая трансформация и накопление ионов V в ЖМО происходят, преимущественно, в результате образования комплексов с Mn-содержащими соединениями, тогда как ионы Sr образовывали комбинированные комплексы

как с Fe-, так и Mn-обогатненными соединениями. В ЖМО почв, испытывающих воздействие от использования минеральных удобрений и выбросов автотрассы, содержание и накопление Sr и V характеризовались тесным уровнем корреляционной связи с Fe-содержащими соединениями ($r = 0.88$). Вероятно, поступление и накопление Sr, V и Fe в ЖМО антропогенно-измененных почв определяется как совместным поступлением элементов из одного источника, так и образованием дополнительных Fe-обогатненных фаз, фиксирующих ионы Sr и V внутри ЖМО.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках гранта №. 23-24-00255, <https://rscf.ru/project/23-24-00255/>.

УДК 631.472.71

ПОДВИЖНЫЕ P И K В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ СОСНЯКОВ И ЕЛЬНИКОВ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ (РОССИЯ)

Чеченков П.Д.^{1,2}, Семенов И.Н.^{1,2}

¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва;

²МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, pavelchechenkov@gmail.com

После забрасывания пахотных земель формируются постагрогенные ландшафты, характеризующиеся постадийным зарастанием и постепенной трансформацией состава и свойств растительности и почв. Предполагается, что концентрация и вертикальное распределение в почве K и P, необходимых для роста и функционирования растений, зависят от длительности протекания агрогенной сукцессии и могут служить индикаторами постагрогенной реградации почв. Целью работы является сравнительный анализ содержания подвижных K и P в песчаных и суглинистых почвах под растительностью различных стадий постагрогенной сукцессии сосновых и еловых лесов в Смоленском Поозерье.

Постагрогенные почвы Смоленского Поозерья имеют отчетливую аккумулятивную вертикальную дифференциацию содержания подвижных форм K. Это связано с большим содержанием элемента в растительном опаде, откуда он попадает в верхний горизонт почвы. Положительный баланс подвижного K в профиле (поступление с опадом компенсирует вынос элемента), а также закрепление его корнями растений обуславливает его максимальное содержание в приповерхностном слое почвы.

Вертикальная дифференциация содержания подвижных форм P не столь однозначна за счет разнонаправленного влияния большого числа факторов – потерь P при распашке в прошлом, внесения фосфорных удобрений, поступления с растительным опадом, щелочно-кислотных условий, содержания илстой фракции и исходного содержания подвижного P в почве до распашки.

От ранних стадий агрогенной сукцессии к возрастным содержание подвижных форм рассматриваемых элементов в почвах двух хроносерий уменьшается в связи с уменьшением объема и богатства опада при смене луговой растительности лесной, а также выносом элементов из профиля. На глубинах 0–5, 10–15, 30–40 см и в материнской породе также найдены закономерности во временной динамике содержания форм K и P. Содержание подвижного K уменьшается на всех глубинах от ранних стадий к поздним. Изменение содержания подвижного K в хронорядках определяется преимущественно биогенным поступлением, кислотнo-щелочными условиями и временем, прошедшим с окончания распашки. Временная динамика содержания подвижного P выражена лишь на глубине 0–5 см, что связано с формированием горизонта реградации и усилением отрицательного баланса P в профиле: после смены состава растительности поступление P с опадом не компенсирует его вынос из профиля. Содержание P в (старо)пахотном горизонте уменьшается на уровне тренда. Временная динамика содержания P в не затронутой распашкой части профиля отсутствует.

Значимых различий между изменением содержания подвижных К и Р в сосновых и еловых лесах не обнаружено. Таким образом, мы имеем двойную повторность хронорядов с одинаковыми трендами динамики содержания подвижных форм рассматриваемых элементов. Наиболее значимыми факторами, определяющими содержание подвижных К и Р в постагрогенных почвах, являются поступление элементов с опадом, кислотнo-щелочные условия и время, прошедшее со времени последней распашки. Гранулометрический состав не оказался определяющим фактором для большинства случаев. На основании регрессионного анализа составлено 4 уравнения, которые объясняют более половины дисперсии (точные значения указаны после каждого уравнения) влиянием учитываемых переменных:

$$K_{0-5} = 66,44 + 0,017 * K_{\text{опад}} - 0,43 * t; (53\%)$$

$$K_{10-15} = -54,22 + 0,19 * K_{0-5} + 12,95 * \text{pH}; (77\%)$$

$$K_{\text{порода}} = -87,95 + 0,02 * K_{\text{опад}} + 11,69 * \text{pH}; (68\%)$$

$$P_{0-5} = -588,46 - 0,07 * P_{\text{опад}} - 0,43 * t + 163,32 * \text{pH}; (65\%),$$

где t – время, прошедшее с последней распашки; К и Р – содержание подвижных К и Р в соответствующем слое (указан подстрочными цифрами и словами) или опаде.

Тем не менее, возможность прогнозирования распределения подвижных форм К и Р в разных частях профиля, а также вопрос степени влияния длительной агрогенной нагрузки и внесения удобрений на содержание этих форм в профиле требуют дальнейшего изучения. Исследование выполнено в рамках проекта РФФ № 21-74-20171.

УДК 631.41

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕЙ ЩЕЛОЧНОСТИ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ

Шамрикова Е.В., Кызьюрова Е.В., Ванчикова Е.В., Жангуров Е.В.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкара, shamrikovaelena@yandex.ru

Динамизм потоков углерода в ландшафтах требует особого внимания к методическому обеспечению измерения всех углеродсодержащих компонентов. В массовых балансах углерода значительное внимание уделяют латеральному выносу мобильных форм неорганического углерода из почв в водные объекты. Это актуализирует исследования по оценке общей щелочности (суммы карбонатной и органической) почв (ОЩ).

Исследованы почвы Полярного Урала, сформированные на карбонатных породах с $\text{pH}_{\text{вод}} 5.6-8.5$, содержанием карбоната кальция 0–100 %, углерода органических соединений 0–35 %.

Между соединениями и ионами, содержащими углерод неорганических соединений в твердой и жидкой фазах, существует равновесие, определяющее природу карбонатных частиц и их количество. Состав карбонатных компонентов при переходе из почвы в раствор не сохраняется. Изменение природы частиц происходит в результате гидролиза карбонат-анионов (1) и взаимодействия гидрокарбонат-анионов с органическими кислотами (2, 3).



Установление равновесия углеродсодержащих частиц и молекул в водной фазе, а, следовательно, значение ОЩ, зависит от ряда факторов.

Способ получения водной вытяжки: отношение массы почвы и объема дистиллированной воды, способ разделения фаз, подготовка почв к анализу. При измерении ОЩ проб органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтов почв на смачивание почвы дистиллированной водой при нормативе отношения массы почвы к объему дистиллированной воды 1 : 25 расходуется до 80 % дистиллированной воды. В подобных случаях нет гарантии правильности полученного результата измерений, так как соотношение

карбонатных соединений в фильтрате и воде, оставшейся вместе с твердой фазой и не прошедшей через фильтр, не равномерно.

Регистрация точки конца титрования (ТКТ) вытяжек из почв. В водных растворах переход окраски метилового оранжевого от оранжево-жёлтой к красной наблюдается в области рН 4.4–3.1. Однако кривые титрования водных вытяжек из почв раствором серной кислоты в конце титрования выходят на плато при рН_{вод} выше 3.2. Следовательно, красный цвет раствора не достигается, а оранжевая окраска лишь углубляется с изменением рН.

Осложняет фиксацию ТКТ по смене окраски индикаторов и темная окраска водных вытяжек органогенных и органоинеральных горизонтов почв. При измерении ОЩ почв, содержащих органические кислоты, регистрацию ТКТ рекомендовано проводить с использованием автоматического титратора или рН-метра.

Присутствие в водных вытяжках (рН_{вод} < 8) органических кислот с рК_а < 4.4 Протоны органических кислот переводят гидрокарбонат-ион в угольную кислоту (равновесия 2 и 3).

Этот факт определяет значительное расхождение ($\theta(\delta) = 20\text{--}70\%$) ОЩ и количества эквивалентов растворенного углерода неорганических соединений (H_2CO_3 , HCO_3^- и CO_3^{2-}), измеренного на анализаторе методом высокотемпературного каталитического окисления, гумусово-аккумулятивных и особенно органогенных горизонтов исследуемых почв. Данный факт подтверждает анализ модельных смесей растворов гидрокарбоната натрия с соответствующими низкомолекулярными органическими кислотами, а также значительное превышение суммы эквивалентов катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) над анионами (ОЩ, Cl^- , SO_4^{2-}) в водных вытяжках. Аналогично отрицательное смещение результатов следует ожидать при определении общей щелочности природных вод, содержащих органические кислоты с рК_а < 4.4. Названная причина определяет значительное занижение реальных количеств растворенных карбонатных частиц почв, выносимых с водосборного бассейна с поверхностным и боковым внутрпочвенным стоком и измеренных титриметрией.

Таким образом, оценка содержания гидрокарбонат-анионов в водной вытяжке из почв раствором серной кислоты титриметрически с погрешностью 20 % возможна при рН_{вод} 8.0–8.3. При анализе водных вытяжек рН_{вод} менее 8, содержащих органические кислоты и их соли, титрованием измеряется часть гидрокарбонат-ионов, оставшаяся после взаимодействия с протонами органических кислот с образованием угольной кислоты. Отклонение количества ионов от перешедших в вытяжку зависит как от природы, так и от содержания органических кислот. Наиболее сильное расхождение данных характеристик имеет место в присутствие органических кислот с рК_а < 4. Корректное сравнение значений ОЩ разных типов почв возможно только при соблюдении всех условий выполнения процедур анализа, которые могут быть экспериментально осуществлены.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-27-002314 «Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация».

УДК 911.9

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ РАЗНЫХ СТАДИЙ ПОСТАГРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»

Шопина О.В.^{1,2}, Енчилик П.Р.^{1,2}, Семенов И.Н.^{1,2}

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, polimail@inbox.ru

²ЦЭПЛ РАН, Москва

Лесные территории Восточной Европы характеризуются процессом постагрогенного восстановления почв. Национальный парк "Смоленское Поозерье" расположен между Валдайской и Смоленско-Московской возвышенностью в зоне умеренно-континентального климата. Эта область представляет собой переходную полосу между подтаежными

смешанными и хвойными лесами. В зависимости от этапа восстановления и возраста смешанных лесов экосистемы Смоленского Поозерья можно разделить на следующие стадии: 0 – агроценоз и залежь 1-3 лет на (текстурно-дифференцированных) агропочвах, 1 – залежный луг на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных, 2 – молодой (20 – 30 лет) березняк на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных, 3 – средневозрастный (35 – 60 лет) березняк на месте пашни на (агро-)дерново-(палево-)подзолистых реградированных почвах, 4 – средневозрастный (70 – 80 лет) березняк на (агро)дерново-палево-подзолистых реградированных почвах, 5 – старовозрастный мелко- или широколиственный лес (80 – 110 лет; древостой преимущественно одновозрастный) на постагрогенных (дерново-палево-) подзолистых почвах, 6 – старовозрастный елово-широколиственный лес (максимальный возраст разновозрастного древостоя 90 – 130 лет) на (дерново-)палево-подзолистых (постагрогенных) почвах, 7 – старовозрастный елово-широколиственный лес (максимальный возраст разновозрастного древостоя 110 – 135).

Генетические горизонты исследованных почв объединены в следующие группы: органоминеральные (АУ и переходные к нему, Р), элювиальные (ЕL, ВЕL), иллювиальный (ВТ), порода (С). Из высушенных при +40°C образцов (всего 188) подвижные формы металлов извлечены 4 параллельными вытяжками с соотношением почва: раствор 1:10: легкообменные – ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) с рН 7,0; труднообменные – ААБ с рН 4,8; комплексные – ААБ с 1% ЭДТА; специфически сорбированные (преимущественно непрочно связанные гидроксидами Fe и Mn) – 1n HNO₃. Формы металлов в почвенных вытяжках определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой в ИПТМ РАН (г. Черноголовка). Значимость различий концентраций форм элементов на разных стадиях постагрогенной сукцессии определена с помощью теста Манна-Уитни. Различия считали значимыми при уровне $p < 0,05$.

У исследуемых элементов на разных стадиях постагрогенного восстановления соотношение форм миграции сохраняется во всех горизонтах почв. Элементы сгруппированы по соотношению подвижных форм: у катионогенных Ba, Ca и Sr преобладают легкообменные соединения; у анионогенного В – труднообменные формы; у Al, Be, Cu, Fe, Mg, Ti и Zn – сорбированные формы; у Co и Mn содержание комплексных форм примерно равно содержанию сорбированных форм. Контрастное увеличение доли комплексных форм Al, Ba, Be, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Sr, Ti, Zn происходит в почвах под березняками на 4 стадии восстановления; сорбированных форм Be, Cd, Co, Fe, Mn, Ti и Zn – в почвах под старовозрастными лесами 5 стадии.

В гумусовом горизонте почв по мере восстановления растительности значимо увеличивается суммарная концентрация подвижных форм В, Ba, Ca, Co, Cu, Mg, Sr, достигая максимума на 5-6 стадиях. Возрастает концентрация легкообменного Mn и снижается – Cu. Содержание мало доступных для растений Al, B, Be и Fe максимально в почвах на 4 стадии восстановления, а катионогенных доступных растениям Ba и Ca – на финальных 5 – 7 стадиях восстановления, под старовозрастным лесом. Содержание Sr и Mg минимально в почвах на 3 стадии восстановления, Cd, Co, Mg и Ti – на 4 стадии и Zn – на 6 стадии. Концентрации трудно обменных соединений Co, Ti и Zn в гумусовом горизонте значимо возрастают по мере восстановления хвойно-широколиственных лесов. Содержание Ba, Be, Cd и Mn значимо изменяется на начальных стадиях восстановления, достигая максимальных значений к 5 стадии. На 4 стадии восстановления концентрации Al, Sr, Ca, Cu, Fe возрастают, а B – падают. По мере реградации гумусовых горизонтов почв значимо возрастает содержание комплексных соединений Ca, и снижается – Cu. На 4 стадии восстановления содержание комплексных соединений большинства элементов (Al, Mg, Ba, Be, Co, Fe, Mn, Ti, Sr и Zn) значимо увеличивается. К 5 стадии сукцессии в гумусовом горизонте почв средневозрастных березняков значимо возрастают концентрации доступного растениям халькофильного Cd и значимо снижаются B. Концентрации сорбированных форм халькофильного, доступного для растений Zn значимо возрастают, а Mg и малодоступных

для растений Be, Fe падают в гумусовых горизонтах почв по мере восстановления растительности. Содержание сорбированных соединений Al, Ba, Cd, Cu, V, Ca и Mn максимально на более поздних (5-6) стадиях восстановления.

В элювиальном горизонте на разных этапах сукцессии изменения содержаний большинства элементов менее контрастны. По мере восстановления леса в этой части профиля прослеживается тенденция снижения суммарного содержания подвижных форм Be, Cd, Co, Cu, Fe, Sr и Zn, что указывает на восстановление характеристик элювиального горизонта. На поздних стадиях восстановления значимо возрастает содержание трудно обменных форм Cd и сорбированного V. Значимое снижение концентраций характерно для легкообменных форм соединений V, Be, Cd, Co и Ti, трудно обменного V, комплексного Sr и сорбированных Ca и Sr. Содержание комплексных соединений Be и Cu в элювиальном горизонте значимо увеличивается на 4 стадии, сорбированного Sr – значимо снижается на 6 стадии.

В иллювиальном горизонте по мере постагрогенного восстановления в почвах значимо возрастают содержания легко обменных форм V, Be, Cd, Co и Ti, достигая максимальных уровней на 4 стадии сукцессии. С увеличением возраста лесов рассеиваются легкообменные формы литофильных катионогенных Ba, Ca, Sr и Mn. Концентрация трудно обменных форм мало доступных растениям Al и Ti увеличивается от ранних стадий сукцессии к поздним, а Mn – снижается. На 4 стадии содержание трудно обменных Ca и Mg максимально, а Cu – минимально. Концентрация комплексных соединений Ba, Be, Mg и Mn значимо возрастает на 4 стадии. Содержания сорбированных форм Ti к 5 стадии сукцессии значимо снижаются. В породе изменения концентрации форм элементов значимы только в единичных случаях. Содержания легко обменной халькофильной Cu значимо возрастает на 4 стадии. Содержания трудно обменного Zn в породе значимо снижаются в старовозрастных лесах. Концентрации комплексных соединений Ba по мере восстановления почв значимо возрастают. Содержания сорбированных соединений халькофильных Cd, Cu и Zn значимо снижаются к поздним стадиям. Концентрации исследованных подвижных форм многих элементов в породе незначительно возрастают в почвах 4 – 5 стадий восстановления.

Значимые изменения концентраций подвижных форм элементов в зависимости от стадии восстановления после распашки свойственны гумусовым горизонтам постагрогенных почв Смоленского Поозерья, где наиболее интенсивна аккумуляция элементов в почвах под средневозрастными и старовозрастными лесами, в большей степени, благодаря повышению уровня комплексных и сорбированных форм соединений халькофильных элементов. Развитие элювиального горизонта проявляется в возрастании интенсивности выноса подвижных форм элементов на поздних стадиях восстановления. В нижележащих горизонтах значимость изменений концентраций подвижных форм элементов снижается, наблюдается тенденция увеличения суммарного содержания подвижных форм большинства элементов. В породе значимые изменения содержаний характерны для поздних стадий восстановления: легкообменной Cu, труднообменного Zn, комплексного Ba и сорбированных Cd, Cu и Zn.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-74-20171).

(С) ПОДКОМИССИЯ. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ

УДК 631.417.1

ИЗМЕНЕНИЕ ОРГАНОПРОФИЛЯ МАРШЕВЫХ ПОЧВ В ХОДЕ ЭВОЛЮЦИИ МОРСКОГО БЕРЕГА О.САХАЛИН

Афанасьев В.В.¹, Демин В.В.², Завгородняя Ю.А.²

¹СахГУ, Южно-Сахалинск, yvasand@mail.ru;

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, zyu99@mail.ru

Марши представляют собой заболоченные экосистемы приливных зон, доминируют на защищенных берегах и окраинах эстуариев в широком диапазоне климатических условий (от субарктических до тропических), но наиболее распространены в умеренных широтах. Критическим фактором для их существования является скорость подъема уровня воды в Мировом океане, которая может составлять до 2.0 см/год. К 2100 году средний уровень океана может увеличиться по разным оценкам на 20-180 см. Экосистемы соленых маршей могут противостоять повышению уровня моря: растительность маршей захватывает осадок, поступающий со стороны моря, что позволяет растениям лучше развиваться и способствовать, в свою очередь, еще более быстрому накоплению осадков и органических веществ. Этот процесс является основным фактором, позволяющим экосистемам маршей не отставать от подъема уровня моря. Скорости накопления осадков на территориях маршей лежат в диапазоне 0,07-4,2 см/год (sediment accretion rate - SAR) и превышают скорость подъема Мирового океана на 45% исследованных территорий. Одновременно с накоплением осадков происходит захоронение углерода в почвах маршей. Средняя скорость накопления углерода (carbon accumulation rate - CAR) составляет по последним данным 244,7 гС·м⁻²·год⁻¹, но для разных прибрежных территорий эта величина варьирует от 18 до 1713 гС·м⁻²·год⁻¹. Скорость аккумуляции углерода в почвах маршей может быть выше, чем в мангровых почвах, и 50 раз превосходит этот параметр для лесных континентальных экосистем. В настоящее время данные о площадях побережий, занятых маршами, скоростях накопления осадков и аккумуляции углерода остаются оценочными, значительные территории побережий практически не изучены. Береговая линия Российской Федерации составляет около 9,5% длины мировой, немногим уступая длине береговой линии США (11,5%), но, если около 50% данных по скоростям аккумуляции углерода относится к маршам США, то в современной литературе отсутствуют сведения о скоростях накопления углерода в почвах маршей Российской Федерации и, соответственно, о суммарном ежегодном стоке углерода в прибрежных ландшафтах.

Проведено исследование почв соленых маршей, расположенных в прибрежной зоне бухты Лососей в заливе Анива острова Сахалин (46,74° с.ш.; 142,73° в.д.). В 500 м от устья реки Сусуя по трансекте, идущей от береговой линии по направлению к лесном массиву, были вскрыты 5 почвенных профилей, из которых по горизонтам были отобраны образцы на анализ содержания и состава органического вещества.

Почва 1 - маршевая водорослево-детритовая почва, расположена в 1-2 м от берегового клифа в зоне формирования низких маршей под осоково-ситниковым растительным сообществом; почва 2 - маршевая детритовая, находится на расстоянии 70 м от берега под злаково-ситниково-осоковым лугом и также относится к экосистемам низких маршей; почва 3 - маршевая детритово-торфяная, сформировалась в 230 м от берега под осоково-тростниковым лугом в зоне развития средних маршей; почва 4 - маршевая торфяная под тростниково-разнотравным лугом, зона средних маршей, в 300 м от берега; почва 5 - торфяная почва, расположена в 550 м от берега залива на опушке смешанного леса (береза, сосна, ива) с лугово-лесным наземным ярусом.

Нижние слои всех исследованных почв сформированы в период накопления морских осадков в приливной зоне. По сравнению с вышележащими горизонтами они имеют более легкий

гранулометрический состав, содержат большое количество органических включений, представленных остатками древесины, а также включения гальки и раковин. Эту минеральную массу с аллохтонным органическим материалом можно рассматривать как почвообразующую породу, на которой затем формируются торфяники различного типа за счет нарастания отмершей растительной массы. Маршевые почвы (1-4) находятся в стадии синлитогенного почвообразования, формирование верхних горизонтов происходит в условиях регулярного поступления осадков со стороны моря; торфяная почва 5 находится за пределами зоны приливов, ее верхние горизонты - результат постлитогенных процессов. По трансекте меняется тип аккумуляции органического вещества, и увеличивается мощность верхних органогенных горизонтов. Для почвы 1 накопление углерода в верхней толще происходит за счет консервации растительных остатков, преимущественно корней, а в самом верхнем горизонте - как результат отмирания водорослевой массы ($C_{org}\%=3-4\%$; $C/N=10$). В верхней части профиля почвы 2 уже заметно образование маломощных слабооторфованных горизонтов с высоким содержанием минеральной массы ($C_{org}=5-10\%$; $C/N=11$). В верхней части профилей почв 3 и 4 наблюдалось хорошо выраженное накопление тростникового торфа с разной степенью разложивности и содержанием минеральной части ($C_{org}=24-42\%$; $C/N=17$). Верхние горизонты почвы 5 - это слои верхового торфа, сформированные в результате развития лесного фитоценоза ($C_{org}=35-45\%$; $C/N=19$).

Для исследованных почв маршей и торфяной почвы лесной экосистемы была рассчитана средняя скорость накопления углерода SAR (таблица). Определение скорости накопления осадков SAR в верхней толще проводили по реперному слою с цунамигенными отложениями, появление которых вызвано землетрясениями 15.11.2006 г. (с магнитудой $M_w=8.3$) и 13.01.2007 г. (с магнитудой $M_w=8.1$) в районе Центральных Курил.

Таблица.

Почва	1	2	3	4	5
Высота (EGM08), м	0,768	0,759	1,091	1,371	3,056
SAR, см·год ⁻¹	1,9	1,3	2,8	2,4	3,8
CAR, гС·м ⁻² ·год ⁻¹	576	449	929	919	2143

Полученные скорости аккумуляции углерода в маршах залива Анива значительно (в 2-3 раза) превышают большинство значений этой величины, полученных для других прибрежных территорий, что может быть связано с локальными климатическими и геоморфологическими особенностями объекта исследований. С учетом размера территорий, занимаемых маршевыми почвами, возможно проведение расчетов по общему стоку углерода в прибрежных ландшафтах о. Сахалин.

Работа выполнена в рамках Госзадания FEFF-2024-0004 «Создание научных основ управления процессами поглощения и накопления углерода биоморфолитосистемами прибрежно-морских водно-болотных угодий».

УДК 631.417

ГУМУС: СТАТУС, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

Безуглова О.С.¹, Чуков С.Н.²

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, lola314@mail.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет, s_chukov@mail.ru

Молекулярная структура гумусовых кислот до последнего времени является одним из самых дискуссионных вопросов в биохимии почв. До сих пор вряд ли возможно дать точные молекулярные формулы для гуминовых веществ (ГВ), все предложенные варианты имеют гипотетический характер, позволяющий в той или иной степени объяснить известные на сегодняшний день свойства гуминовых кислот (ГК), но не дающие адекватного отображения их структуры, расположения атомов и атомных групп. Хотя модель Шультена и Шнитцера (1997) построенная с привлечением методов конформационного анализа, достаточно

удовлетворительно описывает основные физико-химические свойства ГК, необходимо использование современных прямых методов. Критика метода щелочной экстракции ГВ из почвы несостоятельна потому, что ГВ извлекаются другими как неорганическими, так и органическими растворителями, например, диметилформамидом.

Накопленный к настоящему времени исследованиями разных авторов массив данных доказывает, что почвенное органическое вещество представляет собой устойчивое в данных гидротермических и физико-химических условиях образование, а полученные с использованием электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа данные о структуре ГВ вполне сопоставимы. Это еще раз убеждает в справедливости кинетической теории гумусообразования (Орлов, 1977), постулирующей общие принципы формирования ГВ в почвах.

Нестехиометричность состава, нерегулярность строения, гетерогенность структурных элементов и полидисперсность ГВ затрудняют применение традиционных для органической химии способов численного описания строения органических соединений, характеризующих количество атомов в молекуле, число и типы связей между ними. Все это позволило Перминовой (2012) сделать вывод, что ГВ являются широко распространенными в окружающей среде самоорганизующимися природными полиэлектролитами. Это понимание перекликается с гипотезой Пикколо (Piccolo, 2001, 2002), предположившего для гуминовых веществ супрамолекулярную структуру. Применив в своих исследованиях трансмиссионный электронный микроскоп и рентгеновский детектор, Baalousha et al. (2005) установили, что ГК состоит в основном из фибрилл, образующихся при соединении основных молекул диаметром около 20 нм с некоторыми изолированными крупными макромолекулами (30—200 нм).

Сегодня пришло время исследованиям, уточняющим структурную организацию и параметры этой структуры в разных по генезису почвах и различных почвенных горизонтах. Наши исследования с применением элементного и рентгеноструктурного анализов препаратов ГК из черноземов и каштановых почв показали, что их надмолекулярная организация представляет собой пространственную структуру, включающую от двух до четырех слоев конденсированных систем ароматического типа, дополненных сетью цепочных фрагментов различной степени упорядоченности и протяженности. Параметры этой структуры в различных по генезису почвах и в генетических горизонтах одной почвы различны. Однако межплоскостные расстояния фиксируются четко и колеблются от 0,349 до 0,371 нм, а толщина пакета углеродных сеток тем больше, чем выше степень бензоидности гуминовых кислот. Эти результаты хорошо ложатся в общее русло гипотезы о супрамолекулярной природе ГВ и позволяют нам говорить о строении почвенных ГК в виде макромолекул, соединенных с несколькими (множеством) олигомерными фрагментами алифатического характера.

УДК 631.871:631.445.2:631.51.01

ЗАПАСЫ МОРТМАССЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЯЕМЫХ АГРОПРИЕМОВ

Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Кирдун Т.М.

Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Республика Беларусь,

e-mail elena_trokai68@mail.ru

Рациональное управление почвенными процессами, основанное на применении различных агроприемов, относится к числу основных факторов, обеспечивающих повышение устойчивости сельскохозяйственного производства. Особый интерес в агрономическом отношении представляет дальнейшее изучение легкоразлагаемого органического вещества, которое является наиболее динамичной составляющей частью органического вещества почв, формируя их эффективное плодородие.

В полевом опыте с озимой пшеницей нами изучено влияние приемов основной обработки почвы и систем удобрения на запасы мортмассы (ММ) в разных слоях дерново-подзолистой суглинистой почвы. После уборки предшественника солому измельчали, затем вносили удобрение микробиологическое «Жыцень» или компенсирующую дозу азота в виде КАС и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след. Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: в начале ранневесенней вегетации, в фазы первый узел и флаг-лист из расчета N90+40+50. В варианте с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС в первую подкормку доза азота была снижена на 30 кг/га, всего внесено N60+40+50. Почвенные образцы отбирали весной в фазу кущения (главный побег и 2 побега кущения) озимой пшеницы (1-й отбор), в фазы выхода флаг-листа перед подкормкой азотными удобрениями посевов (2-й отбор) и созревания (3-й отбор).

По результатам исследований установлено, что при отборе почвенных образцов в фазу кущения в изучаемых слоях (0–10 см и 10–20 см) суглинистой почвы по вспашке существенному росту запасов ММ способствовала лишь запашка соломы (+11 % по сравнению с фоном). При обработке соломы удобрениями Жыцень и КАС ее запасы снизились на 14–24 %. Ко 2-у отбору минеральные удобрения обеспечили увеличение данного показателя на 7–16 %; запаханная солома – на 14–17 %, внесение навоза по минеральному фону – на 23–40 %. Как и при 1-м отборе в вариантах с обработанной соломой запасы ММ были на 6–17 % меньше, чем без обработки. К уборке наиболее высокие показатели в росте ММ (32–41 %) получены в варианте с применением навоза, внесение минеральных удобрений обеспечило дополнительный выход на уровне 12–22 %. При запашке соломы в слое 0–10 см суглинистой почвы запасы ММ снижались к концу вегетации на 13 % относительно фона, в слое 10–20 см – отмечена лишь тенденция; обработка соломы удобрениями Жыцень и КАС не влияла на накопление ММ.

При поверхностной обработке почвы за счет заделки основной массы пожнивно-корневых остатков в верхний слой запасы ММ в фазу кущения в варианте без удобрений составили 4575 кг/га. Внесение фосфорных и калийных удобрений осенью под основную обработку почву не приводило к изменению этого показателя. Наибольшее накопление ММ в слое 0–10 см по дискованию, в отличие от традиционной обработки почвы, установлено на фоне подстилочного навоза (прирост достиг 33 %). Заделка соломы в верхний слой увеличила запасы ММ на 24 %, а ее обработка удобрениями Жыцень и КАС способствовала их снижению на 16–29 %, как и по вспашке.

При отборе почвенных проб в фазу выхода флаг-листа подкормка азотными удобрениями в дозе N90 ранней весной не влияла на запасы ММ в верхнем 10-см слое в блоке с дискованием при минеральной системе удобрения в отличие от аналогичного варианта в блоке со вспашкой. При этом во всех остальных вариантах с органоминеральной системой удобрения обнаружено их значимое увеличение по сравнению с вариантом без удобрений; дополнительный прирост составил 15–62 % при наиболее высоком показателе в варианте с внесением подстилочного навоза. За счет обработки соломы удобрением Жыцень и внесения компенсирующей дозы азота в виде КАС запасы ММ возросли на 10–27 %.

К фазе созревания озимой пшеницы при поверхностной обработке почвы в слое 0–10 см, в отличие от первых двух отборов, минеральная система удобрения обеспечила рост запасов ММ на 32 %. Вариант с подстилочным навозом, как и в предыдущих отборах, характеризовался максимальной прибавкой в запасах ММ (+42 %) по опытным вариантам этого блока. Убыль запасов ММ при заделке необработанной соломы относительно фонового варианта составила 17 % точно также, как и по вспашке (8–13 %). Ее обработка удобрением Жыцень не влияла на накопление ММ, внесение компенсирующей дозы азота в виде КАС значимо увеличило выход на 14 %.

В нижнем слое (10–20 см) суглинистой почвы в блоке с дискованием не отмечено влияния применяемых систем удобрения на запасы ММ, в их колебании довольно сложно выявить

какую-либо общую тенденцию, за исключением варианта с внесением подстилочного навоза, в котором превышение при 2-х последних отборах относительно контроля достигло 24–25 %. Что касается динамики запасов ММ в суглинистой почве в период наблюдений, то по вспашке в слое 0–10 см по вариантам опыта, а также в слое 10–20 см в вариантах с запашкой соломы и применением удобрения Жыцень наблюдалось увеличение к фазе выхода флаг-листа на 9–53 % и снижение к уборке на 5–28 %. В остальных вариантах в нижнем слое отмечено постепенное их увеличение от возобновления вегетации к уборке (+25–60 %). В блоке с дискованием в слое 0–10 см отмечено постепенное уменьшение запасов ММ от начала вегетации озимой пшеницы к уборке на 17–30 %. Отличительные особенности выявлены в вариантах с внесением минеральных удобрений и обработкой соломы КАС. На минеральном фоне наблюдалось уменьшение запасов ММ на 29 % ко 2-у отбору и увеличение к концу вегетации на 37 %. В то же время в варианте с применением КАС максимальная величина по этому показателю приурочена к фазе выхода флаг-листа (+27 % по сравнению с 1-м отбором) с последующим снижением к уборке на 11 %. В нижнем слое (10–20 см) запасы ММ оставались довольно постоянными от фазы кушения до фазы выхода флаг-листа, а затем повысились к концу вегетации на 11–27 %.

В целом в исследуемой почве максимум запасов ММ в слое 0–10 см в блоке со вспашкой приурочен к фазе выхода флаг-листа, в блоке с дискованием – к фазе кушения; в слое 10–20 см при обоих способах обработки – к фазе созревания.

С точки зрения накопления запасов ММ в суглинистой почве в период наблюдений под влиянием применяемых систем удобрения их максимальное количество по опыту обнаружено при дисковании в слое 0–10 см в фазу кушения озимой пшеницы при органоминеральной системе удобрения на фоне внесения 40 т/га подстилочного навоза (ММ – 6070 кг/га).

При сравнительном анализе отмечено довольно равномерное распределение запасов ММ по вспашке в изучаемых слоях (0–10 см и 10–20 см), только к моменту уборки в слое 10–20 см их накапливалось в среднем на 26 % больше, чем в верхнем слое. В блоке с дискованием на протяжении всего срока исследований превышение по ММ в слое 0–10 см в среднем составило 8–42 % по сравнению с нижним 10-см слоем (10–20 см).

Установлено также, что по дискованию запасы ММ в слое 0–10 см суглинистой почвы в фазу кушения озимой пшеницы были в среднем на 31 % выше, чем по вспашке; в последующем – различий практически не наблюдалось.

УДК 631.423.4

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ АКВАПОЧВ БУХТЫ КИЕВКА ЯПОНСКОГО МОРЯ

Брикманс А.В.¹, Бовсун М.А.^{1,2}

¹Дальневосточный федеральный университет, кафедра почвоведения ИМО,

Владивосток, brikmans.av@dvfu.ru;

²Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, cuk83@mail.ru

Гранулометрический состав и органическое вещество (ОВ) тесно взаимосвязаны, поскольку различные фракции первого с разной степенью интенсивности фиксируют и позволяют накапливаться второму (ОВ). Более мелкие почвенные фракции наиболее «активны», что в свою очередь при преобладающем их наличии в почве способны влиять на различные физические и химические процессы протекающие в почве [2,3]. На процесс разложения органического вещества оказывают влияние воздух, влага и химический состав пород. При недостатке воздуха и избытке влаги в донных отложениях создаются условия для анаэробного микробиологического процесса разложения, что также зависит от гранулометрического состава и органического вещества аквапочв. В связи с этим

необходимо рассматривать содержание органического вещества и гранулометрический состав в донных отложениях (аквапочвах) Японского моря и их прибрежных территорий для дальнейшей оценки их экологического состояния [3].

Объектами исследования являются донные отложения (аквапочвы), отобранные в ходе экспедиции 83 рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с помощью геологических колонок с глубин от 12,2 м до 99,0 м (глубина, без учёта осаднения судна 4.25 м), проводилось послойное изучение образцов до 10 см в шельфовой зоны бухты Киевка, расположенного в заливе Петра Великого Японского моря в Приморском крае.

Исследования показали, что содержанию органического вещества распределено не равномерно в аквапочвах бухты Киевка Японского моря. Таким образом более 1,5 % органического углерода приходится на четыре точки (50, 51, 54 и 56) значения которых варьируют от 1,65 до 2,88 % (табл.1).

Таблица 1 - Органическое вещество и гранулометрический состав в аквапочвах бухты Киевка Японского моря

Объект исследования	Глубина отбора, м	C орг, %	Гранулометрический состав
<u>GA83-49BC</u>	13,1	0,38	Опесчаный суглинок
<u>GA83-50BC</u>	12,2	2,01	Опесчаная глина
<u>GA83-51BC</u>	12,0	1,67	Опесчаный глинистый суглинок
<u>GA83-52BC</u>	14,0	0,88	Опесчаный суглинок
<u>GA83-53BC</u>	18,0	1,01	Суглинистый песок
<u>GA83-54BC</u>	17,5	1,85	Опесчаный суглинок
<u>GA83-55BC</u>	27,0	1,40	Суглинистый песок
<u>GA83-56BC</u>	48,2	2,88	Глина
<u>GA83-57BC</u>	69,0	1,08	Опесчаный глинистый суглинок
<u>GA83-58BC</u>	99,0	1,34	Опесчаный суглинок

Наименьшее содержание органического углерода (менее 0,50 %) приходится на точку 49 со значением 0,38 % и является очень низким показателем. По гранулометрическому составу наблюдается утяжеление в точках, где идет увеличение органического вещества. Так в точках 50, 54, 56 содержание органического углерода содержится от 1,85 % до 2,88 %, в то время как, по гранулометрическому составу фракция песка снижается и увеличивается фракция пыли и глины, что позволило их отнести к опесчанному суглинку, опесчанной глине и глине.

В целом такое неравномерное распределение органического углерода в аквапочвах связано с тем, что в данной бухте произрастает морская трава *Zostera marina*, ее распространение в исследуемой бухте происходит в некоторых местах обильно, а в некоторых районах бухты наблюдается разреженность или вообще ее отсутствие. Благодаря наличию *Zostera marina* в прикорневой зоне создаются условия для аккумуляции илистых и коллоидных частиц, что в свою очередь влияет на накопление органического углерода [4]. Кроме влияния *Zostera marina* также в исследуемой бухте наблюдается наличие терригенной зоны (влияние реки Киевка), что также связано с приносом почвенных частиц различного размера совместно с органическим веществом в бухту Киевка.

Таким образом исследования показали, что в аквапочвах бухты Киевка Японского моря распределение органического углерода зависит от гранулометрического состава, где в зависимости от утяжеления во фракции пыли и ила наблюдается увеличение органического углерода.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Минобрнауки России №FZNS-2023-0019.

Библиографический список

Ивлев, А. М. К вопросу об изучении аквапочв / А. М. Ивлев, О. В. Нестерова // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2004. – № 4(116). – С. 47-52. – EDN HPNBQR.

Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1965.

Некоторые экологические параметры водной среды и донных отложений бухты Киевка Японского моря / Ю. А. Гальшева, Н. К. Христофорова, Е. Н. Чернова [и др.] // Известия ТИНРО. – 2008. – Т. 154. – С. 114-124. – EDN JVUJAZ.

Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. Теории и методы физики почв. (ред.). Изд-во Гриф и К. 2007.

УДК 631.417.1

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТАДИИ ЗАРАСТАНИЯ ПОЧВ ПОСЛЕ ИХ ВЫВОДА ИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБОРОТА

Габбасова И.М., Айвазян М.М., Комиссаров М.А., Гарипов Т.Т.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, gimib@mail.ru

Исследование проводили в рамках программы создания и функционирования карбонового полигона на территории Республики Башкортостан «Евразийский карбоновый полигон 2022-2023 годы». Участок «Мишкино» по ботанико-географическому районированию относится к зоне широколиственных лесов, а в соответствии с морфологической и агропроизводственной характеристикой почв – к агропочвенному округу увалистого междуречья Уфа-Белая Северной лесостепной зоны. На этом участке сформированы серые лесные почвы двух подтипов: серые и тёмно-серые. Почвы полигона различаются по мощности: мало- и среднемощные; по гранулометрическому составу: средне- и тяжелосуглинистые; по структуре гумусово-аккумулятивных горизонтов они в основном порошисто-комковатые. При зарастании залежи выделено 5 стадий: от 5 лет на первой стадии до 25-30 – на пятой. Стадии зарастания не оказали существенного влияния на большинство морфологических свойств этих почв, за исключением улучшения структуры, выраженного в появлении зернистости в верхних горизонтах почвы, начиная с 4-ой стадии зарастания. По реакции среды почвы карбонового полигона относятся в основном к среднекислым. Среди серых лесных почв встречаются сильнокислые, а среди тёмно-серых – слабокислые. Тёмно-серые по сравнению с серыми лесными почвами в большей степени обогащены щелочногидролизующим азотом – ближайшим резервом азотного питания растений. По содержанию подвижного фосфора почвы в основном относятся к категории «очень низкая». При этом его среднее содержание в слое 0-20 см увеличивается с 7-11 мг/кг при первой и второй стадиях зарастания до 14-16 мг/кг при четвертой-пятой. В серой лесной почве после прекращения ее использования под пашню происходит снижение содержания и запасов $S_{орг}$ на 47-53% (таблица). Очевидно, это обусловлено прекращением внесения органических и минеральных удобрений, поэтому пахотные почвы некорректно принимать за точку отсчета при восстановлении комплекса свойств почвы. Выравнивание происходит на третьей стадии зарастания, после чего наблюдается тенденция к превышению этих показателей по сравнению с пахотными почвами. В тёмно-серой лесной почве после вывода ее из пашни существенных изменений в содержании $S_{орг}$ не происходит вплоть до 5-ой стадии зарастания. В связи с возрастанием плотности сложения почвы после прекращения пахоты, запасы $S_{орг}$ постепенно увеличиваются, начиная с 3-ей стадии зарастания.

Таблица. Содержание и запасы органического углерода

Стадия зарастания	Серая лесная почва		Тёмно-серая лесная почва	
	$S_{орг}$, %	Запасы, т/га	$S_{орг}$, %	Запасы, т/га
пашня	3,66±0,33	137,1±5,8	5,05±0,37	189,4±5,6
1	2,39±0,07	93,3±2,7	5,32±0,15	207,4±5,8
2	2,48±0,10	94,1±4,5	5,00±0,19	194,8±7,5
3	3,58±0,24	139,4±9,4	5,44±0,17	212,0±6,5

4	3,80±0,24	141,9±10,9	5,42±0,20	211,3±7,7
5	3,98±0,16	155,4±6,2	5,87±0,13	221,7±8,9

В целом содержание и запасы органического углерода существенно различаются в подтипах почвы: в серых лесных содержание $C_{орг}$ изменяется в диапазоне 2,39-3,98%, что заметно ниже, чем в темно-серых (5,00-5,87%). Соответственно изменяются и запасы $C_{орг}$ (93-155 и 189-222 т/га). При этом заметные изменения этих показателей в верхнем 0-30 см слое серой лесной почвы начинаются только с 3-ей стадии зарастания и к 5-ой стадии увеличиваются на 67%. В более гумусированной темно-серой лесной почве этот процесс выражен в меньшей степени и к 5-ой стадии зарастания содержание органического углерода увеличивается на 10%, а его запасов – на 7%.

УДК 631.4

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ИХ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬЮ И УСТОЙЧИВОСТЬЮ К БИОДЕСТРУКЦИИ ГРИБНОЙ ЛАККАЗОЙ

Давыдова И. Ю.¹, Заварзина А. Г.^{1,2}

¹Факультет почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва,
irinadavydova2000@mail.ru,

²Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва

Органическое вещество почв – главный резервуар $C_{орг}$ в наземных экосистемах, однако состав и причины устойчивости гумусовых веществ являются предметом дискуссий. Согласно традиционным представлениям основу гумуса составляют гуминовые вещества (ГВ), которые в настоящее время определяют как полидисперсную и гетерогенную совокупность соединений, формирующихся в процессе разложения и трансформации растительных и микробных остатков - гумификации (IHSS 2020). Наиболее характерными продуктами гумификации в почвах являются гуминовые кислоты (ГК) – соединения, экстрагируемые щелочами и осаждаемые кислотой, обогащенные карбоксильными и фенольными группами и составляющие 20–60% $C_{орг}$ различных типов почв. Причины накопления ГК – сложная структура или же органо-минеральные взаимодействия до конца не выяснены, что делает актуальными работы в области изучения физико-химической и биологической устойчивости ГК различного происхождения.

Цель работы - установить взаимосвязь между физико-химическими свойствами ГК различного происхождения, их термической устойчивостью и устойчивостью к действию окислительного фермента лигнолитического комплекса базидиальных грибов - лакказы. Объектом исследования служили ГК компоста - ГКК, дерново-подзолистой почвы - ГКД (Московская обл) и чернозема глинисто-иллювиального - ГКЧ (Липецкая обл). ГК выделяли по стандартной методике и очищали от зольных компонентов мембранной фильтрацией. Зольность препаратов составляла не более 5%. Физико-химическая характеристика включала элементный состав ГК, оптические показатели (Е4/Е6), содержание структурных фрагментов методом ¹³С-ЯМР, определение содержания бензолполикарбоновых кислот (БПКК). Устойчивость к термодеструкции определяли методом ТГ-ДСК. Устойчивость к биодеструкции – в культуре гриба *Coprinus comatus* и в инкубационных экспериментах с чистым ферментом. Определяли молекулярно-массовые распределения ГК на геле Sephadex G-75 и изменения в оптических показателях (D₄₆₅). На основе данных физико-химического анализа ароматичность ГК увеличивалась в ряду ГКД-ГКК-ГКЧ, о чем свидетельствует снижение отношения Е4/Е6 (5.0-4.7-3.2), увеличение содержания ароматических фрагментов по данным ¹³С-ЯМР (34-36-39 % от площади спектра), увеличение содержания бензолполикарбоновых кислот (42-80-230 мг/г). При анализе дериватограмм установлены три стадии разложения ГК. Первая стадия, где фиксируется эндотермический эффект на кривой ДТА в интервале 20– 60°С, связана с

испарением воды и выделением кислородсодержащих газов. Вторая стадия в области 200-400°C связана с реакциями деструкции кислородсодержащих групп и алифатических фрагментов. Для ГКД и ГKK экзотермический максимум в этой области лежит при температуре 386°C, для ГКЧ - и 388 °C. Третья стадия – деструкция ароматического каркаса ГК с максимумом для ГКД при 450°C, ГKK – при 566 °C и ГКЧ – 436 °C. Потеря массы для ГК в области 200-400 °C составила 51, 65 и 40% для ГКД, ГKK и ГКЧ соответственно, в области 400-700°C – 40, 32 и 57% соответственно. Данные термогравиметрии согласуются с содержанием БПКК и оптическими свойствами ГК и свидетельствуют о том, что при увеличении степени ароматичности происходит увеличение потери массы в высокотемпературной области. Изученные ГК характеризуются наличием двух пиков на хроматограммах – высокомолекулярного (>75 кДа) и низкомолекулярного (около 10 кДа). При деструкции ГК в присутствии лакказы в культуре гриба и *in vitro* происходят реакции деполимеризации, уменьшается содержание высокомолекулярной фракции и увеличивается содержание низкомолекулярной. Однако, ГKK и ГКЧ подвергаются деструкции в большей степени по сравнению с ГКД, что не вполне согласуется с термостабильностью изученных препаратов. Таким образом, прямая взаимосвязь между устойчивостью ГК к термодеструкции и к деструкции окислительными ферментами не прослеживается, что не позволяет на основе данных термического анализа делать выводы о биологической стабильности ГК.

УДК 631.417

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА СОСТАВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПО ДАННЫМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ

Данилин И.В., Фарходов Ю.Р., Холодов В.А., Семенов М.В.

ФИЦ Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, danilin.i@mail.ru

Количественная оценка влияния типа землепользования на состав и свойства почвенного органического вещества (ПОВ) необходима для устойчивого развития агроэкосистем, оценки антропогенной нагрузки и эффективности землепользования. Несмотря на большое число исследований в этой области, до сих пор многие инструменты мониторинга химического состояния ПОВ остаются недоступными вследствие их высокой себестоимости, сложной пробоподготовки и др. В настоящее время под эгидой ФАО в почвоведении и агрономии активно развиваются методы сухой химии, в т.ч. инфракрасной спектроскопии диффузного отражения (DRIFTS), отличающиеся высокой скоростью, информативностью и экономичностью анализа, а также минимальными требованиями к пробоподготовке. Однако, в настоящее время этот метод не получил широкого распространения на территории РФ, что обосновывает актуальность изучения его возможностей на примере контрастных по свойствам почв, особенно – почв агроэкосистем. Целью данного исследования было изучение химического состава ПОВ черноземов и дерново-подзолистых почв разных типов землепользования методом DRIFTS.

В качестве объектов исследования были выбраны осушенные дерново-подзолистые почвы (Всероссийский НИИ мелиорируемых земель – филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Тверская область) и черноземы на территории Биосферного полигона Института географии РАН (Курская область). Отбор образцов проводился на пашне и залежи (чернозем и дерново-подзолистая почва), а также пастбище и сенокосе дерново-подзолистой почвы на глубине 0-20 см. Анализ методом ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье проводили на приборе FT-801 (Simeх, Россия) в режиме диффузного отражения на приставке PRIZE (Simeх, Россия). Предобработка спектров включала сглаживание фильтром Савицкого-Голея, коррекцию рассеяния света и коррекцию базовой линии. Химический состав ПОВ

характеризовали по относительной интенсивности 8 полос поглощения: 1030-1050, 1325-1350, 1360-1380, 1560-1600, 1680-1700, 1800-1820, 1865-1875, 2850-2925 см^{-1} .

Интенсивность поглощения ИК излучения черноземов была выше, чем в дерново-подзолистых в областях 1030-1050, 1560-1600, 1680-1700, 2850-2925 см^{-1} , а дерново-подзолистые почвы поглощали ИК излучение активнее черноземов в областях 1325-1350, 1360-1380, 1800-1820, 1865-1875 см^{-1} . ПОВ черноземов отличается от ПОВ дерново-подзолистых почв большей долей углеводов, ароматических и алифатических компонентов, в то время как для ПОВ дерново-подзолистых почв характерно увеличение доли карбоксильных, фенольных, а также карбонильных компонентов, что соответствует литературным данным о составе ПОВ этих почв.

Пахотные и залежные черноземы значительно различаются только по относительной интенсивности полос 1030-1060 см^{-1} (уменьшается в залежи), а дерново-подзолистые почвы разного землепользования отличаются по всем идентифицированным полосам поглощения. Интенсивность полосы 1030-1050 см^{-1} значительно увеличивается в залежи, интенсивности полос 1325-1350 см^{-1} и 1360-1380 см^{-1} значительно уменьшаются, а в области 2850-2925 см^{-1} – увеличиваются для варианта «сенокос», интенсивность полосы 1360-1380 см^{-1} значительно увеличивается в варианте «пастбище». Одинаковые закономерности изменения поглощения выявлены в областях 1560-1600 см^{-1} и 1680-1700 см^{-1} : максимальная интенсивность характерна для сенокоса, минимальное – для пастбища. Максимальное поглощение в областях 1800-1820 см^{-1} и 1865-1875 см^{-1} выявлено для пашни, а минимальное – для сенокоса. ПОВ чернозема отличается большей устойчивостью к антропогенному воздействию по сравнению с дерново-подзолистой почвой. Влияние пахотной обработки на ПОВ черноземов выражено в относительном накоплении углеводов. Возможным объяснением является увеличение активности микроорганизмов вследствие внесения удобрений, что приводит к накоплению углеводов микробного происхождения в сравнительно устойчивых микроагрегатах. При этом в залежи дерново-подзолистой почвы доля углеводов увеличивается по сравнению с остальными вариантами землепользования, что связано с активным поступлением опада, в т.ч. целлюлозы, в почву залежи и активной минерализацией лабильного ПОВ в пахотной дерново-подзолистой почве. Среди изученных дерново-подзолистых почв наиболее явно выделяется состав ПОВ сенокоса высокой долей ароматических и алифатических компонентов относительно залежи и других видов землепользования. Их относительное накопление свидетельствует о более глубокой гумификации ПОВ пашни по сравнению с почвой залежи, что может быть связано с отчуждением наземной растительной биомассы и более активной трансформацией ПОВ микроорганизмами в условиях отсутствия иных доступных субстратов; накопление алифатических компонентов ПОВ подтверждает предположение о микробной природе изменений состава ПОВ сенокоса. Пахотный вариант среди остальных дерново-подзолистых почв выделяется относительно высокой долей карбонильных и карбоксильных функциональных групп, что может быть связано со спецификой трансформацией ПОВ в условиях механической обработки почвы, способствующей интенсификации минерализации ПОВ и препятствующей образованию конденсированных ароматических структур вследствие отчуждения урожая и уменьшения биологической активности почвы. Для чернозема аналогичная закономерность не была выявлена. Пастбище характеризуется уменьшением доли окисленных и ароматических компонентов ПОВ и увеличением доли алифатических спиртов, что может быть связано с накоплением лабильного ПОВ под влиянием жизнедеятельности крупного рогатого скота и увеличением микробной биомассы. Полученные результаты демонстрируют успешный пример использования инфракрасной спектроскопии для изучения химического состава ПОВ различных агроэкосистем и показывают различия во влиянии разных типов землепользования на состояние ПОВ черноземов и дерново-подзолистых почв.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022–0018).

УДК 631.417.7

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ И ФОРМЫ БИОГЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПОД ШИРОКОЛИСТВЕННЫМ РАСТИТЕЛЬНЫМ СООБЩЕСТВОМ

Демин В.В., Завгородняя Ю.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, vvd.msu@gmail.com

К настоящему моменту накоплен большой набор данных по составу и скоростям оборачиваемости индивидуальных органических соединений, образующих почвенный гумус. Сформированы представления о наличии углеродных пулов с различной устойчивостью. Тем не менее, ряд аспектов формирования органоминеральной матрицы в почвах остаются не до конца исследованными: в частности, механизмы стабилизации органических веществ, которые приводят к тому, что такие устойчивые несущие ароматические фрагменты соединения, как лигнин, в почве подвергаются минерализации с большей скоростью, чем менее устойчивые к биодеградации алифатические молекулы почвенных липидов - линейные углеводороды. Подходы к изучению набора (гомологического профиля) компонентов липидной фракции (метод «молекулярных отпечатков») широко используются для оценки поступления, скорости и временной динамики оборота органического вещества почвы. Были проведены натурные исследования верхнего горизонта AU1 темногогумусовой почвы (Haplic Phaeozems) под расположенным на территории Большого газона МГУ монодоминантным фитоценозом с кленом платанолистным (*Acer platanoides*) в древесном ярусе. Отсутствие в экосистеме напочвенного яруса делает опад клена единственным источником поступления липидов (и, соответственно, линейных алканов) в верхний горизонт почвы, что дает возможность проследить за накоплением и трансформацией *n*-алканов из растительных эпитокулярных и кутикулярных восков клена, имеющих уникальный молекулярный отпечаток (в гомологическом составе доминирует C₃₁). Сезонный отбор почв проводился в течение 3 лет в ноябре после окончания листопада, в апреле после окончания снеготаяния, в сентябре в конце вегетационного сезона. В образцах почв определяли состав и содержание *n*-алканов в соответствии с разработанной ранее оптимизированной методикой анализа гидрофобных компонентов почвенных липидов.

Поступление на почву под кленовым сообществом листового опада (~1000г/м²) происходит в течение непродолжительного периода с конца октября по начало ноября. Процессы напочвенной деструкции и минерализации способствуют полному срабатыванию опада к сентябрю следующего года. Несмотря на высокое содержание в опаде клена *n*-алканов (около 2800мкг/гСорг), в верхний слой почвы в составе частиц листового детрита их попадает не более 2-4% в результате механического просыпания и перемешивания почвенными беспозвоночными. В основном качественный и количественный состав *n*-алканов определяется фракцией органического вещества, связанной с минеральной фазой почвы (с плотностью >1,6г/см³). В периоды интенсивной деградации свежего наземного опада происходит также залповое поступление в нижележащий слой почвы водорастворимых органических соединений, что, как и выделение корневых экссудатов, обеспечивает усиление микробиологической активности в постлистопадный и весенний периоды. Происходящее при этом нарастание микробной биомассы должно выражаться в появлении в почве дополнительного количества четных и коротких гомологов алканов, синтезируемых микроорганизмами.

По полученным данным в течение трех лет наблюдались однотипные изменения в гомологическом составе и содержании *n*-алканов в верхнем горизонте темногогумусовой

почвы под широколиственным фитоценозом, которые выражались в регулярных повышениях содержания линейных алканов в течение годового цикла на 25-50%. Суммарное содержание алифатических углеводов было минимально в начале осени в предлистопадный период; форма профиля *n*-алканов и величины гомологических индексов указывали на отсутствие в почве значительных количеств липидов микробной биомассы, 90% линейных алканов были представлены длинными нечетными гомологами (C₂₅-C₃₃) растительного происхождения. В постлистопадный период опад клена становился источником дополнительного количества растительных *n*-алканов, содержание которых в почве повышалось на 25%; при этом нарастало также содержание *n*-алканов микробного происхождения - резко повышалась доля четных гомологов и алканов с длиной цепи <23. В весенний период после окончания снеготаяния активизация работы детритного блока в разрушающихся на поверхности почвы листьях приводила к повышению содержания микробных липидов, а также к окислению вместе с более легкодоступным субстратом поступивших в почву осенью липидов кленового опада - содержание нечетных *n*-алканов C₂₅-C₃₃ снижалось и становилось равным долистопадному значению. Дальнейшее снижение суммарного содержания углеводов в верхнем слое почвы к концу вегетационного сезона было связано только с утилизацией липидов микробной плазмы. Относительный состав длинных нечетных гомологов углеводов оставался неизменным в течение всего годового цикла и точно соответствовал молекулярному отпечатку биомассы клена, что предполагает присутствие растительных липидов в виде самостоятельных наноструктур, попадающих в почву при деградации барьерных покровов растений. Таким образом, верхние гумусовые горизонты почвенного профиля, являются активной зоной, где происходит регулярное поступление, синтез, перераспределение и трансформация наиболее гидрофобных соединений органического вещества почвы. Алифатические неразветвленные углеводороды присутствуют в верхних горизонтах почвы в виде набора форм, относящихся к углеродным пулам с разной скоростью обновления. В метаболический пул почвы (время обновления – 0,1х лет) входят *n*-алканы микробной биомассы, которые появляются при нарастании и отмирании бактериальных и грибных клеток и гиф и которые неселективно минерализуются вместе с липидами и другими компонентами клеток; они присутствуют в составе отдельных биоструктур в свободном органическом веществе (детрите) и в связанном с почвенными частицами виде, имеют однотипный гомологический профиль без выраженного доминирования. Алканы, источником которых являются растительные воска, присутствуют в верхнем слое почвы в виде липидных комплексов (нанокапсул) и входят в медленно обновляемый пул. Время их обновления – 1х-10х лет, оно зависит от возможностей механического перемешивания верхнего слоя почвы, от наличия в почве позиций, на которых возможно прочное связывание относительно гидрофобных частиц. Обновление этого пула идет в процессе обмена сорбированных на органоминеральной матрице комплексов с периодически поступающими липидными комплексами из свежего опада. Молекулярный отпечаток этого пула (с выраженным доминированием одного-двух гомологов алканов) формируется за счет совместного вклада всех источников растительных липидов в верхнем слое почвы и не изменяется без смены фитоценоза. После смены фитоценоза изменение гомологического профиля *n*-алканов является результатом регулярного частичного обмена между вновь поступающими и ранее сорбированными липидными комплексами. *n*-Алканы нанокомплексов липидов, непрочны связанных в почве с органо-минеральными поверхностями или входящих в состав фрагментов растительного детрита, быстро подвергаются неселективной минерализации вместе с другими компонентами свободного органического вещества и относятся к метаболическому пулу. В почве также возможно присутствие углеводов в составе липидов, относящихся к пассивному пулу, время жизни которых по данным углеродных ¹⁴C датировок составляет 100х лет и соизмеримо со временем жизни в почве фракции черного углерода. Можно

предположить, что они присутствуют в виде наиболее прочносвязанных с минеральными поверхностями липидных комплексов, оставшихся от реликтовых растительных сообществ. Работа выполнена в рамках Госзадания МГУ № 122011800459-3

УДК 631.4

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГУМУСООБРАЗОВАНИИ И ИХ РОЛЬ В СТАБИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

Заварзина А. Г.

Факультет почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, zavarzina@mail.ru

Органическое вещество почв – главный резервуар Сорг в наземных экосистемах, однако процессы образования и стабилизации веществ гумуса остаются предметом дискуссий. Согласно традиционным представлениям основу гумуса составляют гуминовые вещества (ГВ) - полидисперсная и гетерогенная совокупность соединений, формирующихся в процессе разложения и трансформации растительных и микробных остатков (гумификации) (www.humic-substances.org). Наиболее характерными и реакционноспособными ГВ являются гумусовые кислоты – гетерогенная и полидисперсная совокупность веществ, экстрагируемых щелочами, осаждаемых кислотой (ГК) или остающихся в растворе (ФК). Эти азотсодержащие соединения составляют около 50% Сорг различных типов почв, обогащены ароматическими кольцами, несущими карбоксильные и фенольные группы. Механизмы образования гумусовых кислот до конца не выяснены, равно как и причины устойчивости этих соединений. На смену представлениям о молекулярной стабильности пришло мнение о ведущей роли органо-минеральных взаимодействий в стабилизации Сорг.

Считается, что гумусовые кислоты образуются при трансформации органических остатков микроорганизмами, причем большое значение играют окислительные свободнорадикальные процессы, сопровождающиеся деструкцией исходных биополимеров (лигнина, танинов и др), а также реакциями конденсации и со-полимеризации. В процессе окислительной трансформации увеличивается полярность продуктов за счет реакций деметилирования, гидроксирования и карбоксилирования (окислительное кислотообразование по Л.Н.Александровой). Окислительная трансформация биополимеров (лигнина) – ведущий путь в современной биосфере за счет массового содержания лигнина в древесной растительности, составляющей 90% наземной биомассы (500 Гт С). Однако, этот путь появился не ранее 350 млн лет назад с возникновением лигнина и его специфических деструкторов – лигнолитических грибов. Количественно минорным, но более масштабным в рамках истории биосферы можно считать конденсацию низкомолекулярных фенольных соединений. Согласно классическим представлениям, фенольные соединения окисляются биогенными и абиогенными катализаторами до фенокси-радикалов и хинонов, которые затем подвергаются спонтанным реакциям конденсации, не требующим энергетических затрат. В этих реакциях при участии орто-фенолов образуются темноокрашенные соединения. Биокатализаторы гумификации – фенолоксидазы, пероксидазы, оксиды Fe и Mn появились с оксигенированием биосферы 2500 млрд лет назад, около 1500 млрд лет назад появились микромицеты, метаболитами которых являются простые фенолы С₆-С₁ ряда. Таким образом, конденсационный путь гумификации, с образованием продуктов ароматической природы, мог действовать на протяжении около 1500 лет истории биосферы. Однако, в связи с низкими концентрациями фенольных соединений в почвенных растворах, сорбционными взаимодействиями субстратов (фенольных веществ) и продуктов с минеральными фазами, возникает вопрос о скоростях реакций, о возможности их протекания в почвенных условиях и о молекулярных массах продуктов. Кроме того, остается невыясненным, насколько конденсационные реакции способствуют секвестрации и стабилизации Сорг в почвах независимо от молекулярных масс образующихся веществ. В модельных реакциях по взаимодействию гуминовых кислот с двухдоменной лакказой стрептомицетов (эволюционно

древней формой фермента) нами показано, что фермент катализирует исключительно полимеризацию и способствует стабилизации структурных компонентов ГК, увеличивая их молекулярные массы. В модельных экспериментах по взаимодействию смеси фенольных кислот с лакказой грибов, иммобилизованной на каолините, модифицированном гидроокисью алюминия показано, что при низких (характерных для почв) концентрациях субстрата и в проточных условиях возможны реакции димеризации и олигомеризации, способствующие преимущественному (по сравнению с мономерами) связыванию продуктов с минеральной фазой. В присутствии лакказы в 2 раза увеличивалась убыль Сорг в растворе по сравнению с контролем без лакказы. Таким образом, доказана возможность протекания конденсационных реакций в условиях, характерных для почв, и их важная роль в связывании органического углерода.

Работа выполнена при поддержке грантов РНФ 17-14-01207 и 23-14-00152

УДК 631.42

ЛАБИЛЬНОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ЧЕРНОЗЕМОВ И ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Зиганшина А.Р., Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Буряк А.Д., Семенов М.В. Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, mpum6009@gmail.com

Лабильный пул почвенного органического вещества (ПОВ) – активно изменяющаяся часть ПОВ, содержание и состав которого являются высокочувствительным показателем его трансформации. Одним из наиболее простых и показательных способов характеристики лабильного ПОВ является изучение фракции водоекстрагируемого органического вещества (ВЭОВ). Целью исследования было оценить оптические свойства ВЭОВ черноземов и дерново-подзолистых почв различного землепользования.

Были изучены типичные черноземы (Курская обл.) и дерново-подзолистые почвы (Тверская обл.) различных видов использования: черноземы под пашней и залежью, дерново-подзолистые почвы под пашней, пастбищем, сенокосом и залежью. Оптические свойства ВЭОВ оценивали методами УФ-Вид и флуоресцентной спектрометрии. Для характеристики состава ВЭОВ определяли стандартные оптические индексы: $SUVA_{254}$, E2/E3, S_R , FI, NIX, VIX.

В ходе исследования установлено, что различия составов ВЭОВ исследованных типов почв связано с высокой долей ароматических компонентов ОВ в дерново-подзолистых почвах по сравнению с черноземами. Свойства ВЭОВ черноземов и дерново-подзолистых почв также зависели от вида использования. ВЭОВ пахотных черноземов по сравнению с залежными отличается высокой степенью конденсированности и сложности структуры ОВ. Оптические свойства ВЭОВ дерново-подзолистых почв пашни и залежи слабо различались, основные различия выявлены между пастбищем и всеми остальными вариантам. ВЭОВ варианта пастбище, характеризуется низкомолекулярными ароматическими соединениями микробного происхождения. Оптические свойства ВЭОВ остальных вариантов дерново-подзолистых почв указывают на высокий вклад сложных конденсированных молекул и высокую долю ОВ растительного происхождения.

Таким образом, в результате исследования показаны особенности строения лабильного ПОВ различных типов почв, а также влияние вида землепользования на его строение и происхождение. В целом ВЭОВ черноземов лучше отзывалось на вид использования по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, что вероятно связано с большим разнообразием ПОВ черноземов.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022–0018).

УДК 631.423.4: 543.632.9

ОКСИТЕРМОГРАФИЯ – ЭКСПРЕСС МЕТОД БЕЗРЕАГЕНТНОГО МОНИТОРИНГА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ, ВОДЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Зуев Б.К., Михайлова А.В., Гришина И.В., Коротков А.С., Филоненко В.Г.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва,

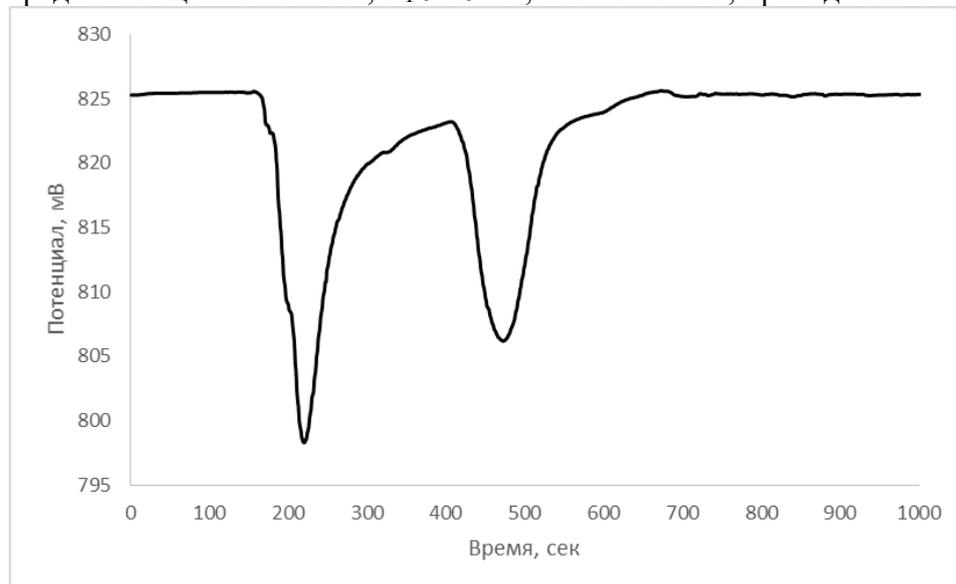
zubor127@ya.ru

Органическое вещество почв (ПОВ) и на ней произрастающей растительности представляет собой сложный природный полимер. Это один из основных компонентов почв, определяющий их плодородие, влияющий на углеродный цикл, загрязнение среды и качество сельскохозяйственной продукции. Хотя в почве присутствуют как органические, так и неорганические формы углерода, считается, что при землепользовании обычно оказывается большее влияние на запасы органического углерода. Поэтому нами основное внимание уделяется органическому углероду почвы и других объектов. Кроме того, именно органический углерод почвы важен для любого типа почв. ПОВ может быть источником или поглотителем атмосферного $\text{CO}_2\text{-C}$ в зависимости от землепользования и управления почвой, растительностью и водными ресурсами. ПОВ является источником атмосферного $\text{CO}_2\text{-C}$, а использование методов добывающего земледелия приводит к отрицательному балансу питательных веществ и усугубляет деградацию почвы. Оценка накопления углерода в почве в сельскохозяйственных и управляемых экосистемах требует полного анализа жизненного цикла или расчета бюджета углерода экосистемы.

Нами показана возможность определения органического углерода в природных объектах методом окситермографии. В разработанном методе измеряют потребление кислорода при окислении анализируемого образца в потоке газа с кислородом. Массу образца измеряют, помещают его в лодочку, выполненную из материала нейтрального по отношению к кислороду, затем лодочка автоматически помещается в реактор (высокотемпературную печь) с положительным градиентом температур с контролем температуры образца. В реактор подает газ в виде бинарной смеси кислорода с инертным газом, или кислорода с азотом, или в виде воздуха. Одновременно регистрируется содержание кислорода в газе после прохода над образцом и температуру образца, также регистрируют содержание диоксида углерода. Определяют содержание органического углерода в образце по градуировочному графику, заранее построенному при окислении в тех же условиях вещества с известным содержанием органического углерода. Дополнительно в способе проводят окисление летучих органических соединений, помещая катализатор в высокотемпературную часть реактора, и измеряя на выходе из реактора содержание углекислого газа и содержание водяного пара. Поставленная задача решается программированным нагревом пробы в потоке воздуха и регистрацией изменения (уменьшения) содержания кислорода в потоке воздуха, выходящего из высокотемпературной печи, в которой осуществляется нагрев природного полимера. Уменьшение содержания кислорода в потоке воздуха обусловлено тем, что кислород расходуется на окисление органических соединений. Для повышения точности регистрации начальной температуры окислительной термодеструкции производится каталитическое доокисление фрагментов органических соединений. Градуировочный график строят с использованием чистого вещества, например, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (сахарозы). Используя разные навески от 0,7 до 4,3 мг, регистрируют отрицательные экстремумы – уменьшения содержания кислорода относительно фонового значения в потоке воздуха. Используя эти данные, строят градуировочный график и находят градуировочную зависимость для датчика кислорода, характеризующую связь между площадью пика в условных единицах и количеством кислорода в миллиграммах, потраченного на окисление органического углерода. В соответствии с критерием «правило трех сигм» находят минимальную площадь пика, характеризующего потребление кислорода при окислении органических веществ.

Используя тангенс угла наклона градуировочного графика, находят, какое минимальное количество кислорода может быть зарегистрировано на данной установке. Эта величина составляет $1,7 \cdot 10^{-2}$ мг, что на порядок меньше для аналитических весов, используемых в химическом анализе.

Пример окситермограммы почвы - каштановые карбонатные солонцеватые среднеистощенные почвы, В₁ 9-29 см, навеска 24 мг, приведен ниже:



Для управления прибором разработаны программы PLK154 и PROFILE. Программа PROFILE формирует алгоритм движения лодочки в процессе измерения и записывает его в память прибора. Программа PLK154 запускает процесс измерения и считывает данные, передаваемые прибором. Регистрируются показания датчика в мВ, температуры реактора, лодочки и регистрирующей ячейки. По этим данным в режиме реального времени рассчитывается концентрация кислорода в реакторе. Принимаемые данные и рассчитанная концентрация отображаются на дисплее как в виде графиков (зависимости параметров от времени), так и в цифровом виде. Совокупность данных, полученная в ходе измерения, записывается в файл. В дальнейшем данные из файла могут быть воспроизведены программой PLK154 и преобразованы в формат программы EXCEL из пакета Microsoft Office.

Предложенный метод окситермографии позволяет быстро и точно определить состав общего содержания органического углерода в торфе и почвах. Прибор имеет малые размеры, его технические параметры позволяют работать как в лабораториях, так и в полевых условиях. Этот метод обладает высокой точностью, т. к. расхождение в данных результатов окситермографического анализа и стандартного метода не превышает 1%, что видно из таблицы:

Образец	Содержание Сорг., % (мас.)	
	Окситермография	Анализатор Flash 2000 ("Thermo Scientific", Венгрия)
Верховой торф с болота Журавлиная родина	34,5	35,6
Очес с болота Журавлиная родина	46,9	47,3
Верховой торф с болота Изоплит	44,2	43,2

Верховой торф с болота Галицкий мох	38,5	38,2
----------------------------------------	------	------

УДК 631.417

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПАХОТНЫХ ПОЧВ КУНГУРСКОЙ ОСТРОВНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Истомина Т.А.

ПГАТУ имени Д.Н. Прянишникова, Пермь, tanchikser@gmail.com

Северная граница лесостепи имеет островной характер и местами «заходит» на север в лесную зону. Одним из самых северных ее «островов» является Кунгурская лесостепь – уникальный ландшафтный объект, располагающийся в междуречье Ирени и Сылвы на юго-востоке Пермского края. Из-за совместного произрастания бореальных, неморальных и степных видов территория характеризуется высоким биоразнообразием и значительным участием в строении почвенного покрова серых лесных почв, черноземов оподзоленных и выщелоченных. Благоприятные агроклиматические и почвенные условия определили сельскохозяйственную специализацию территории и значительную долю пахотных земель в структуре ее землепользования.

Исследования почв были проведены на территории сельскохозяйственных угодий ООО «Овен». Основной возделываемой культурой хозяйства является картофель. Свойства почв изучены на примере 4 полнопрофильных почвенных разрезов. При этом разрезы 2 и 3 были заложены на относительно молодой пашне, возвращённой из состояния залежи менее 10 лет назад. В соответствии с Классификацией почв России 2004-2008 гг. почвы диагностированы как агросерые и агротёмно-серые, агродерново-подзолистые.

Все исследуемые почвы имеют глинистый состав, унаследованный от почвообразующей породы – элювиально-делювиальных отложений. В составе фракций в верхних горизонтах значительно содержание крупной и тонкой пыли с постепенно убывающим по профилю характером. Верхние горизонты относительно обеднены илом – 18-32 %, в срединных горизонтах его содержание увеличивается до 45-47 %. Пахотные горизонты почв мощностью 25–30 см характеризуются серой и темно-серой окраской. Подпахотные горизонты представлены гор. АУ и АУе и АЕL. Емкость катионного обмена в гор. Р и РU изменяется в пределах 26–45 мг-экв./100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 69–83 %, рНпочвенных растворов 4,3–5,6.

Содержание гумуса в пахотных горизонтах почв изменяется от 4,8–5,5 % в агродерново-подзолистой и агросерой почвах до 8,6-8,8 % в агротемно-серых (разрезы 2, 4). В подпахотных горизонтах его содержание постепенно убывает до 1,3–2,9% в горизонтах АЕL и АУе и 5,6 % в горизонте АУ. Степень варьирования показателя для пахотных горизонтов 22 %, для подпахотных – 53 %. С агроэкологической точки зрения показатели содержания гумуса в исследуемых почвах соответствуют оптимальным значениям, рекомендованным для пахотных почв лесостепной и степной зон.

Запасы гумуса в слое 0–20 см возрастают в ряду почв от 98 до 160 т/га, в слое 0–50 см – от 159 в агродерново-подзолистой почве до 243–320 т/га в агросерой и агротемно-серых.

Содержание углерода ГК в составе гумуса пахотных горизонтов отражает генетическую принадлежность почвы и убывает в ряду: агротемно-серые почвы – агросерые – агродерново-подзолистые от 1,6-1,9 до 0,2 % от массы почвы. Доля ГК в общем содержании углерода 16–37 %, что указывает на различия в степени гумификации органического вещества в указанном ряду почв. Тип гумуса пахотного горизонта почв фульватно-гуматный с Сгк /Сфк 1,00–1,66 (разрезы 1,2,4) и фульватный с Сгк /Сфк 0,30 (разрез 3).

Электронные спектры растворов ГК в видимом диапазоне длин характеризуются низкими значениями коэффициентов цветности (Q), возрастающими в генетическом ряду почв в направлении: от 2,7–2,9 в агротемносерых до 3,2–3,4 в агросерой и агродерново-подзолистой почвах. Наличие тесной корреляции между значениями оптической плотности растворов при длине волны 465 нм с концентрацией ГК позволяет прогнозировать концентрацию на основе регрессионной модели: $C_{гк}=2,91668 \cdot D_{465}$ ($R^2=0,96$, F–тест=175 при уровне значимости $F=1,1 \cdot 10^{-5}$).

Для всех исследуемых почв характерно высокое содержание в составе органического вещества лабильных форм, извлекаемых 0,1 М раствором NaOH. В пахотных горизонтах оно составило 1,4–1,7 % от массы почвы, а его доля в Сорг. достигает 35–49 %. Сходный уровень агротехники на угодьях определил низкую степень варьирования признака ($V=13$ %). В зависимости от длительности сельскохозяйственного использования угодий в составе лабильного органического вещества возрастает доля гуминовых кислот: от 24–32 % на «молодой» пашне до 52–57 % в старопахотных почвах.

Таблица – Состав и свойства лабильных форм органического вещества

Горизонт, глубина, см	Сорг, %	Слов в % от С _{общ}		С _{лгк} в % от Слов		D ₄₆₅ , нм	Q
		от массы почвы	от Сорг.	от массы почвы	от Слов		
Разрез 1. Почва агросерая (картофель)							
Р (0-25)	3,16	1,41	45	0,74	52	2,09	5,0
АУ (25-40)	3,23	1,29	40	0,74	57	1,69	4,8
Разрез 2. Почва агротемно-серая (картофель)							
РУ (0-30)	4,98	1,54	31	0,37	24	1,67	5,9
АУе (30-40)	0,73	0,08	11	0,02	25	0,02	3,6
Разрез 3. Почва агродерново-подзолистая (ячмень)							
Р (0-25)	2,76	1,35	49	0,43	32	0,94	5,5
АЕЛ (25-40)	0,94	0,17	18	0,04	24	0,05	6,4
Разрез 4. Почва агротемно-серая (картофель)							
РУ (0-30)	5,13	1,72	34	0,98	57	3,73	4,9
АУе (30-50)	1,69	0,64	38	0,37	58	1,03	5,1

Изучение спектрофотометрических кривых растворов ЛГК показало, что в целом лабильные формы гуминовых кислот (ЛГК) менее ароматичны, на что указывают более высокие значения коэффициента цветности – 4,9–5,9. При этом ЛГК в старопахотных почвах несколько более конденсированы, чем в почвах, относительно недавно введенных в использование из залежи: коэффициент цветности снижается с 5,5–5,9 в постзалежных почвах до 4,9–5,0 – в старопахотных. Эти данные в целом согласуются с представлениями об эволюции гуминовых веществ в условиях дефицита органического опада пахотных угодьях, сопровождающейся накоплением ароматических структур. В то время как в новообразованных гуминовых кислотах залежных почв накапливаются алифатические структуры.

Выявлена тесная связь между значениями оптической плотности при длине волны 465 нм с концентрацией лабильных форм гуминовых кислот в растворе. Уравнение регрессии: $C_{гк}=0,26499 \cdot D_{465}$. Коэффициент детерминации $R^2=0,87$, F–тест=41,46 при уровне значимости $F=0,0007$.

При анализе показателей состояния органического вещества почв длительного сельскохозяйственного использования (разрезы 1 и 4) и почв, введенных в оборот относительно недавно (разрезы 2 и 3), были выявлены следующие закономерности. При длительном использовании почв гумусное состояние почв улучшается за счет накопления

$S_{орг.}$, в т.ч. ЛОВ, в подпахотных горизонтах. В составе ЛОВ увеличивается доля ЛГК ($S_{гк}/S_{фк} 1,1-1,3$ и $0,32-0,47$ соответственно), возрастает степень их ароматичности, о чем свидетельствуют показатели оптической плотности их растворов ($Q=4,9-5,0$ против $5,5-5,9$).

УДК 631.46

СТРУКТУРНАЯ БИОХИМИЯ ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ, ПО ДАННЫМ ^{13}C ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

Ковалева Н.О.¹, Ковалев И.В.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, natalia_kovaleva@mail.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, kovalmsu@mail.ru

Пул органических и органоминеральных соединений почв, как известно, отличается чрезвычайной сложностью, многокомпонентностью, гетерогенностью, географическим разнообразием и, к тому же разновозрастностью составляющих его структур. Различия свойств гуминовых кислот, так же как разнонаправленность процессов гумификации и дегумификации во времени и в пространстве отмечали многие исследователи для полигенетичных почв экотонных ландшафтов лесостепи, но механизмы молекулярной стабилизации органического вещества в условиях переменной влажности и различной окислительно-восстановительной обстановки окончательно не выявлены. Возможно, с этим связано и отсутствие единства мнений о генезисе почв лесостепи и о происхождении почв ополей со вторыми гумусовыми горизонтами. Познание пространственной неоднородности свойств гумусовых кислот послужит и прояснению вопроса о различиях их структурной биохимии во времени: в условиях аридизации климата и наступания степи на лес, или при распространении лесной зоны к югу в гумидные холодные эпохи. Поэтому целью данного исследования стало сравнительное изучение структуры молекул гуминовых кислот полигенетичных голоценовых почв Центральной лесостепи, а также железисто-марганцевых новообразований из них, методом ^{13}C -ЯМР спектроскопии.

Объектами исследования послужили серые лесные почвы, образующие типичные геохимические катены в Московской и Брянской областях. Изученные ряды почв представлены агросерыми почвами водораздельных микроповышений, их оподзоленными разностями – в верхних частях склонов и в блюдцеобразных понижениях на водоразделах, глееватыми – в средних частях склонов, и глеевыми – у подножия склонов и в выраженных депрессиях.

Препараты гуминовых кислот выделяли из исследуемых почв трехкратной экстракцией 0.1 н. NaOH/ 0.4 М NaF из декальцированных 0.05 н. H₂SO₄ образцов. После отделения коллоидов центрифугированием (2500 грамм, 15 мин.; (Beckman, Model J – 6)) осуществляли очистку препаратов гуминовых кислот от минеральных солей электродиализом (MWCO 12 000 – 14 000). Отдиализованные и высушенные вымораживанием препараты гуминовых кислот (50 мг) растворяли в 0,6 мл 0.3 М NaOD/D₂O. Съемка спектров достигалась в 5 мм трубочке (ампула) с пробой на ЯМР-спектрометре Bruker Avance DRX 500 при 290 К с частотой 25,18 МГц. Относительное содержание отдельных форм соединений в гуминовых кислотах оценено интегрированием интенсивности полученных на спектрах сигналов, то есть, доли площади поверхности соответствующего химического сдвига (м. д.) (ppm – parts per million) от нулевого значения, соотношенного к сигналу ЯМР эталонного соединения. Интерпретацию выполняли на основании литературных данных. Данные представлены в виде среднего \pm стандартное отклонение. Определение возраста почв выполнялось методом радиоуглеродного датирования препаратов гуминовых кислот.

Серые лесные почвы развиваются в условиях периодически промывного водного режима, однако, многолетнее изучение особенностей гидрологического и окислительно-восстановительного (ОВП) режимов выявило их значительную контрастность на разных элементах рельефа. Так, агросерые почвы микроповышений (автоморфные почвы лесостепи

полностью распаханых) не испытывают переувлажнения, и независимо от влажности года в них устанавливается промывной тип водного режима, даже в период снеготаяния. Значения ОВП при этом достигают величин 510 мВ. Агросерым почвам со вторым гумусовым горизонтом в микрозападинах свойственно полное обводнение профиля и образование над поверхностью микрозападин слоя застойной воды с марта до второй декады апреля. Значения ОВП в ранневесенний период и осенью в период выпадения обильных осадков в этом случае опускаются до 280-340 мВ, формируется двухъярусная верховодка. Тип водного режима – периодически промывной, так как летом значения окислительно-восстановительного потенциала вновь достигают величин 400-450 мВ, а влажность почвы опускается до величин влажности завядания растений. Глеевые почвы балок и оснований склонов характеризуются застойно-промывным типом водного режима и максимальным обводнением профиля как за счет формирования верховодки, так и при участии грунтового увлажнения. Восстановительные условия сопровождаются максимальным падением ОВП до 270 мВ. В дренированных почвах величины ОВП постоянны на протяжении всего теплого периода и составляют 380-450 мВ. Как известно из работ И.С. Кауричева и Д.С. Орлова, небольшое переувлажнение почв способствует накоплению органического вещества и увеличению степени его гуматности.

Данные ^{13}C -ЯМР спектроскопии, полученные для 10 препаратов гумусовых кислот из серых лесных почв разной степени гидроморфизма и четырех препаратов – из железисто-марганцевых ортштейнов, указывают на существенную трансформацию углеродного скелета макромолекул при нарастающем переувлажнении, и при конкрециообразовании. Более 20 пиков идентифицировано на ЯМР-спектрах, экстрагированных из почв гуминовых кислот. При этом в гидроморфных почвах все сдвиги более контрастны, алифатические фрагменты молекул обладают наибольшей разветвленностью и более длинными углеводородными цепочками по сравнению с автоморфными. В целом молекулярные структуры гумусовых кислот из дневных гумусовых горизонтов серых лесных почв микроповышений обладают очень низкой ароматичностью – 21-24 %, близкой дерново-подзолистым почвам бореальной зоны. Возраст этих горизонтов – 1650 ± 60 лет. Значительное увеличение (до 75 %) ароматичности демонстрируют гумусовые кислоты из вторых гумусовых горизонтов почв микропонижений (6990 ± 110 лет), что типично для гумуса черноземов. Следовательно, в среднем голоцене изучаемые пространства лесостепи были заняты травяной растительностью на черноземных почвах (что подтверждается и результатами изотопного анализа и анализа пула n-алканов и лигнинных фенолов, фитолитным анализом), а на рубеже исторического времени, по-видимому, имело место масштабное изменение климата и наступление леса на степные пространства.

В восстановительных условиях под влиянием оглеения происходит трансформация углеродного скелета макромолекул гумуса: уменьшается их ароматичность, увеличивается степень окисленности, разветвленности и растянутости алифатических структур в длину. В ортштейнах полосы алифатической части спектра теряют свою интенсивность по сравнению с гуминовыми кислотами вмещающих горизонтов. Отношение площадей пиков ароматической части молекул к алифатической составило 0,70-1,04 – для ортштейнов, и 0,32 – для почв. Количество карбоксильных структур в гумусовых кислотах ортштейнов в два раза выше, чем в гумусе почв. При этом радиоуглеродный возраст ортштейнов – 1600-1990 лет, то есть начало эпохи с переменным окислительно-восстановительным режимом совпадает с началом исторического времени и распространением лесной растительности. Осушение почв приводит к разрушительной трансформации гумусовых кислот ортштейнов: к уменьшению на 10 % степени ароматичности при одновременном нарастании объема периферической части молекулы. Доля всех классов алифатических протонов увеличивается. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-24-00155.

ФОРМИРОВАНИЕ ПУЛА ЛЕГКОМИНЕРАЛИЗУЕМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ МАСЛИЧНЫХ КАПУСТНЫХ КУЛЬТУР

Кураченко Н.Л., Власенко О.А., Ульянова О.А.

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, E-mail:

kurachenko@mail.ru

Почвенное органическое вещество, выполняя продукционно-воспроизводящие и техногенно-защитные функции, определяет устойчивое функционирование почвы в составе естественных и сельскохозяйственных экосистем. Замена естественных экосистем агроэкосистемами в наибольшей степени влияет на углеродный цикл, так как отчуждение большей части органического вещества, синтезированного на пашне, и усиление минерализации гумуса изменяют составляющие углеродного баланса. Определение содержания в почве легко минерализуемого органического вещества является объективным способом оценки изменений качества почвенного органического вещества, вызываемого различными агробиотехнологиями.

В полевых опытах на территории землепользования ООО "ОПХ Соляное", расположенного в Канской лесостепи Канско-Рыбинского геоморфологического округа Красноярского края изучены механизмы формирования пула легкоминерализуемого органического вещества в агрогеннопреобразованных почвах при возделывании масличных капустных культур - ярового рапса (*Brassica napus oleifera annual, Metzld*) гибрида Контра КЛ и рыжика посевного сорта Ужурский (*Camelina sativa (L.) Crantz*). Масличные культуры, возделываемые по инновационной технологии, определяют возможности регулирования гумусного состояния почв посредством изменения условий поступления органического вещества в почву и его гумификации. Высокая доля стабильных форм гумуса в структуре органического вещества агрочерноземов региона (90-95 % от Свал) свидетельствует о высокой степени агрогенной нагрузки и дефиците поступления растительных остатков в почву. Исследованиями показано, что возделывание высокопродуктивных капустных масличных культур увеличивает поступление в почву растительных остатков как в течение вегетации за счет частичного отмирания надземных органов растений, так и после уборки семян за счет пожнивных остатков и мощных корневых систем растений.

Установлено, что накопление в почвах растительных остатков обусловлено гидротермическими условиями, биологическими особенностями возделываемых культур и технологией их возделывания. Полученные результаты по термическому режиму пахотных горизонтов агрочерноземов в период вегетации масличных капустных культур свидетельствуют об отсутствии достоверных отличий в динамике температурного режима почвы. Обнаружено, что 0–20 см слой агроценоза рыжика в среднем на 1-2 °С теплее, чем рапса. Наибольшее потребление воды культурами происходило из верхнего 0-50 см слоя почвы преимущественно за счет летних осадков (85 %). Эвапотранспирационный расход влаги рапсом из метрового слоя агрочернозема оценивался на уровне 295 мм, рыжиком - 283 мм. Максимальный запас углерода фитомассы сформировался к моменту созревания семян и в среднем за два вегетационных сезона составил в посевах ярового рапса 3,18 тС/га, в посевах рыжика – 1,70 тС/га. В это же время обнаружены максимальные запасы углерода корней в слое 0-40 см, которые составили у рапса 1,02, у рыжика – 0,66 тС/га. Запасы углерода сорняков не превышали 0,2 тС/га. Формирование запасов углерода надземной мортмассы в агроценозах происходит благодаря поступлению пожнивных остатков предшествующей культуры и свежего опада возделываемых культур, а также процессам разложения и перехода в состав подземного растительного вещества. В среднем за вегетацию запасы надземной мортмассы составили в агроценозе рапса 0,44 тС/га, в агроценозе рыжика – 0,29 тС/га. Запасы углерода подземной мортмассы, являясь источником для минерализации и образования гумусовых веществ, имели выраженную динамику во время вегетации, в среднем общие запасы углерода подземной мортмассы в агроценозах составили 0,90-1,04

т/Сга, при этом запасы углерода мелкой мортмассы были 0,63-0,72 тС/га. В слое 0-20 см сосредоточено от 65 до 81 % запаса углерода корней, крупной и мелкой мортмассы. Применение биологических стимуляторов роста и развитие масличных культур оказало существенное увеличение (на 63 %) запасов углерода фитомассы и корней ярового рапса. Основными количественными характеристиками круговорота углерода в агроценозах являются величина чистой первичной продукции и интенсивность процессов деструкции и разложения органического вещества. В среднем за два года чистая первичная продукция в агроценозе рапса была 4,76, в агроценозе рыжика 3,07 тС/(га·год), в том числе надземная продукция в агроценозе рапса составила 3,70, в агроценозе рыжика 2,40 тС/(га·год). Отношение надземной продукции к подземной в агроценозах оказалось 3,1-3,8. Отчуждение углерода с урожаем составило в агроценозах масличных культур около 32% от чистой первичной продукции. Интенсивность образования углерода мортмассы в течение вегетации и после уборки урожая составила в агроценозе рапса 3,24, в агроценозе рыжика 2,10 тС/(га·год). Интенсивность разложения углерода мортмассы в агроценозе рапса была 2,81, в агроценозе рыжика 3,16 тС/(га·год). В целом отношение поступление/разложение углерода растительных остатков при возделывании рапса оказалось 1,15, при возделывании рыжика 0,66. Таким образом, возделывание высокопродуктивных гибридов рапса приводит к созданию положительного баланса углерода растительного вещества в почве за счет высокого поступления и замедленного разложения растительных остатков у этой культуры.

УДК 631.4

МЕХАНИЗМЫ СЕКВЕСТРАЦИИ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ ПОСТАГРОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ПАХОТНЫХ УГОДИЙ В РАЗЛИЧНЫХ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ РОССИИ

Курганова И.Н.¹, Лопес де Гереню В.О.¹, Телеснина В.М.², Самбуу А.Д.³, Мерино А.⁴, Личко В.И.¹, Журавлева А.И.¹, Волкова Т.Ю.¹

¹Институт Физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, ikurg@mail.ru;

²Факультет Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, vtelesnina@mail.ru

³Центр биосферных исследований Республики Тыва, Кызыл, sambuu@mail.ru

⁴Университет Сантьяго де Компостела, Луго, Испания, agustin.merino@usc.es

Площадь постагрогенных угодий в мире превышает 220 млн га. В статье, опубликованной в Nature Communication в 2023 г., указывается, что «Постагрогенные экосистемы, несмотря на широкое распространение во всем мире, остаются одними из наименее лимитированных поглотителей углерода на суше. Оценить их роль в восстановлении природного запаса углерода планеты необходимо для лучшего понимания их пространственного и временного наследия. Пришло время отображать, моделировать и управлять лучшими в мире постагрогенными угодьями для секвестрации углерода и восстановления экосистем». Экологические преимущества постагрогенных экосистем включают: восстановление почв и растительности; увеличение растительного и микробного разнообразия; аккумуляцию углерода в растениях и почвах; смягчение климатических изменений. Цель исследований включала оценку постагрогенной динамики запасов и пулов углерода в почвах различных биоклиматических зон России (южной тайги, широколиственных лесов, степей) и анализ механизмов секвестрации органического вещества (ОВ) в зависимости от типовой принадлежности почв.

Исследования проводили методом хронорядов в разные годы на контрастных типах почв: дерново-подзолах (подзона южной тайги, Костромская обл.), серых почвах (зона широколиственных лесов, Московская обл.) и черноземах обыкновенных (подзона сухих степей, Ростовская обл. и подзона настоящих степей, республика Тыва). В Европейской части России климат во всех регионах относится к умеренно-континентальному, а в

азиатской – к резко-континентальному. В каждой биоклиматической зоне хроноряды включали современную пашню, залежи разного возраста и естественный ценоз. На каждом из выбранных участков закладывали разрезы для морфологического описания и определения плотности почв на глубинах 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см. На расстоянии не менее 20 м от основного разреза в трех локациях, удаленных друг от друга на расстоянии 30–50 м, закладывали по 3 прикопки, глубиной 40–50 см, в которых из тех же метрических слоев отбирали смешанные образцы. В образцах определяли общие свойства почв (pH_{H_2O} , pH_{KCl} , наименьшую влагоемкость (НВ), содержание Сорг и Нобщ, отношение С/Н), микробные свойства (скорость базального дыхания (БД) и содержание С в микробной биомассе (Смик)), а также экофизиологические параметры (БД/Смик, БД/ Сорг и др). На серых почвах Московского региона и черноземах обыкновенных в республике Тува в самом верхнем слое 0–5 см определяли активность гидролитических ферментов методом флюороген-меченных субстратов, а в дерново-подзолах южной тайги определяли содержание полифенолоксидаз и фосфатазы. В почвах некоторых хронорядов (слои 0–5 и 5–10 см) проводили денситометрическое, термическое и биокинетическое фракционирование Сорг и применяли метод ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) для изучения химического состава Сорг. Для слоя 0–20 см были оценены запасы Сорг и скорости его накопления в ходе постагрогенной сукцессии, а также и оценены коэффициенты стратификации ОВ. Показано, что в ходе постагрогенной сукцессии в подзоне южной тайги на дерново-подзолах в верхней части старопашотного горизонта (слои 0–5 и 5–10 см) наблюдается значимый рост содержания Сорг и Нобщ, а также усиление стратификации их распределения в пределах старопашотной толщи, особенно после образования сомкнутого древостоя на бывших пахотных почвах. Постагрогенная сукцессия способствует росту скорости базального дыхания и содержания микробной биомассы, максимальные значения которых чаще всего были зафиксированы в почве 40-летнего мелколиственного леса. По мере естественного лесовосстановления на бывших пахотных почвах выявлено достоверное усиление фосфатазной активности в пределах всего старопашотного горизонта. Пики активности оксиредуктаз соответствуют стадиям сукцессии с максимальным поступлением легкоразлагаемого растительного опада. За 40 лет постагрогенной сукцессии наблюдается статистически значимое увеличение всех анализируемых показателей и на всех рассматриваемых глубинах старопашотного слоя, однако их наибольший ежегодный прирост отмечается в слое 0–5 см, который более других обогащен органическим веществом. Серые почвы широколиственной зоны с более низким содержанием Сорг по сравнению с черноземами обыкновенными сухой степи имели гораздо более высокий относительный прирост содержания Сорг (134%) в ходе постагрогенной эволюции по сравнению с черноземами, где прирост Сорг составил 38%. Прирост Сорг был зафиксирован во всех классах органических соединений, выявленных методами ЯМР и термического анализа, однако повышение стабильных фракций Сорг было более выраженным в постагрогенных черноземах, чем в серых почвах. Черноземные почвы сухих степей в процессе постагрогенного развития характеризовались более высокой алифатичностью и ароматичностью Сорг, чем серые почвы широколиственного леса. Микробная активность и содержание биоразлагаемых форм Сорг постепенно увеличивались в ходе постагрогенной сукцессии. Являясь в основном функцией климата и растительности, тип почвы был основным фактором, объясняющим наибольшую часть (54–88%) общей дисперсии большинства почвенных и микробных параметров. На основе комплексного анализа различных по доступности к микробному разложению пулов органического углерода, ферментативной и микробной активности чернозема обыкновенного в условиях настоящей степи (республика Тыва) под пашней, залежью и целиной выявлены существенные различия в структуре ОВ почв и ее ферментного пула. Показано, что залежные почвы на черноземе обыкновенном за 27 лет восстановительной сукцессии не достигли уровня целинной почвы ни по одному из анализируемых свойств.

Несмотря на то, что содержание Сорг увеличилось в ходе постагрогенного развития во всех типах почв, механизмы секвестрации и стабилизации углерода зависели от климата, растительности и степени деградации пахотных почв во время их сельскохозяйственного использования. Максимальное содержание ОВ было характерно для почв, сформированных под естественными лесными ценозами и целинными степными участками, и имело прямые последствия для активизации микробной деятельности, кругооборота и секвестрации углерода.

Таким образом, мы заключаем, что в процессе постагрогенной эволюции происходит последовательное увеличение запасов углерода в бывшем пахотном слое всех изученных типов почв. Более выраженный рост содержания углерода в результате забрасывания пахотных земель наблюдается в верхнем 0–5 см слое за счет увеличения поступления свежих растительных остатков и корневой фитомассы. В ходе постагрогенной сукцессии наблюдается заметное усиление стратификации содержания Сорг в слое 0–20 см, свидетельствующее о восстановлении углерод-секвестрирующей и климаторегулирующей функции почв в ходе постагрогенной эволюции. Содержание углерода увеличивается во всех денсиметрических и различных по термической устойчивости фракциях ОВ. Восстановление естественной растительности в ходе сукцессии приводит к заметному росту микробной и ферментативной активности преимущественно в самом верхнем слое почвы. Рост разнообразия ферментов обеспечивался увеличением разнообразия и доступности органических субстратов в постагрогенных почвах. Тип почвы является основным фактором, влияющим на механизмы связывания углерода.

Работа выполнялась в рамках ГЗ ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.48

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИПИДОВ ПОЧВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ (ХРЕБЕТ БОЛЬШОЙ ПАЙПУДЫНСКИЙ)

Лю-Лян-Мин Е.И.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО, Сыктывкар, gruzdeva.katua94@yandex.ru

К настоящему времени, основные представления по почвам Полярного Урала получены для районов, которые легко достижимы в транспортном отношении. Наименее исследованными остаются почвы Полярного Урала, сформированные на продуктах выветривания плотных карбонатных пород. Важнейшим направлением почвообразования в этих объектах являются процессы гумусообразования и гумусонакопления.

Органическая часть почвы включает вещества, относящиеся по химическому составу и строению к различным классам соединений. Самой представительной группой органических соединений почвы, являются высшие карбоновые кислоты, входящие как в состав липидов почвенной микробиоты, так и содержащиеся в свободном виде. Каждая почва может быть охарактеризована индивидуальным набором жирных кислот (ЖК). Это позволяет использовать данную группу соединений в качестве индикаторов химических и биохимических процессов, протекающих в почвах на современном и предшествующих этапах их формирования.

Цель работы – исследование состава липидных компонентов почв Полярного Урала на карбонатных породах хроматографическими методами, а также разработка новых методических подходов извлечения и определения липидных компонентов почв. Повышение селективности определения целевых компонентов в анализируемых пробах – основная проблема, с которой сталкиваются исследователи в связи со сложностью состава и многокомпонентностью объекта. В связи с этим, большое внимание в работе уделено методической части. Известные методики газохроматографического определения жирных кислот в почве предполагают проведение длительной пробоподготовки с обязательным разделением стадий извлечения и дериватизации анализируемых соединений. В данной

работе нами рассматривается подход, предполагающий совмещение стадий экстракции и дериватизации анализируемых соединений. Предлагаемый вариант позволяет также повысить селективность определения алканов, жирных спиртов и фенольных кислот. В докладе будут приведены преимущества разработанного подхода, способы хроматографической идентификации анализируемых соединений, а также возможности применения получаемой информации о содержании жирных кислот в образцах почв для характеристики почвенной микробиоты.

Исследования выполнены в рамках гранта РФФИ № 24-27-00231 «Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация».

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ БЕССМЕННЫХ ПШЕНИЦЫ, КУКУРУЗЫ И ПАРА НА ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ЧЕРНОЗЁМА ТИПИЧНОГО

Мамонтов В.Г., Беляева С.А., Поляков А.М.

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, e-mail belyaevasa@inbox.ru

Черноземная зона является важнейшим земледельческим регионом России. Именно в пределах черноземной зоны, особенно в центральной ее части, благоприятный для большинства сельскохозяйственных культур гидротермический режим сочетается с высоким потенциальным плодородием почв. Распашка чернозёмов влечет за собой ряд необратимых изменений в функционировании этих почв, что отражается на их режимах и свойствах. В первую очередь это связано с заменой естественной травянистой растительности культурными растениями агроценозов. В результате этого масштабы ежегодного растительного опада, поступающего в пахотные почвы, снижаются в 2–8 раз. На этом фоне возрастает аэрация почвенного профиля, обусловленная ежегодными механическими обработками почвы, что ведет к снижению коэффициентов гумификации органических остатков и увеличению коэффициентов минерализации гумусовых веществ. В итоге в пахотных черноземах снижаются содержание и запасы гумуса, изменяется его фракционно-групповой состав.

Негативное изменение гумусового состояния черноземов оказывает неблагоприятное влияние на другие свойства почвы: снижается емкость обмена и буферность, содержание обменного кальция, ухудшается почвенная структура, в результате чего в худшую сторону изменяется водно-воздушный режим черноземов, что отрицательным образом сказывается на их плодородии.

В последние десятилетия проблема ухудшения свойств и режимов пахотных черноземов обострилась. Связано это с отказом сельхозпроизводителей от севооборотов и ориентацией на узкую специализацию и даже на длительное бессменное возделывание одной культуры. Поэтому оценка особенностей изменения свойств черноземов при длительном экстенсивном сельскохозяйственном использовании в течение четко установленного периода имеет важное практическое и научное значение.

Цель работы – изучить влияние бессменных озимой пшеницы, кукурузы и чистого пара на органическое вещество чернозема типичного Курской области за четко установленный промежуток времени.

Объектом исследования служил чернозем типичный миграционно-мицелярный мощный тяжелосуглинистый на карбонатном лёссовидном суглинке (Haplic Chernozem, Loamic, Pachic). Почвенные образцы отбирали в 2021 году. Образцы целинного чернозема под некосимой степью и чернозема под бессменным паром, опыт заложен в 1947 г., отбирали в Центрально-черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина. Образцы чернозема под бессменными озимой пшеницей и кукурузой без удобрений отбирали на опытном поле Курского НИИ АПП, заложенном в 1964 г. Почвенные образцы отбирали из гумусово-аккумулятивного горизонта А мощностью 0–20 см. В индивидуальных

образцах методом Тюринга определяли содержание общего гумуса и лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) в непосредственной 0,1 н. NaOH-вытяжке. Термический анализ проводили на приборе SDTQ600 в атмосфере осушенного воздуха при скорости поднятия температуры 10 град/мин. По данным термического анализа находили коэффициент Z как отношение потери массы в низкотемпературной области к потере массы в высокотемпературном интервале. ИК-спектры снимали на ИК-Фурье-спектрометре Spectrum One Perkin Elmer, оснащенный детектором LiTaO₃ и KBr-светоделителем.

Согласно полученным данным, самое высокое содержание общего гумуса – 8,16 % присуще целинному чернозему. В пахотных почвах его содержание закономерно снижается до 6,15 % в варианте с бессменной озимой пшеницей и до 5,68 % в варианте с бессменной кукурузой. Самое низкое содержание общего гумуса – 4,21 % наблюдается в варианте бессменного пара, потери составили 48%, по сравнению с целинным черноземом. В вариантах под бессменными культурами потери находятся на уровне 25-30 %. ЛГВ являются важным компонентом гумуса и принимают непосредственное участие в формировании эффективного плодородия почвы. Самое высокое их количество – 1808 мг/кг почвы присуще целинному чернозему. Количество ЛГВ в пахотных черноземах существенно снижается: до 1122-1135 мг/кг почвы в черноземе под бессменными культурами и до 965 мг/кг почвы в черноземе под бессменным паром. По сравнению с целинным черноземом потери ЛГВ в черноземе под бессменными культурами составили 37 %, а в черноземе под бессменным паром – 47 %. Таким образом, экстенсивное использование чернозема типичного ведет к активной минерализации гумуса и его наиболее ценной с агрономической точки зрения части – лабильных гумусовых веществ.

При интерпретации данных термического анализа принимается, что в интервале температур до 100 °С удаляется гигроскопическая вода. В интервале 100–400°С термодеструкции подвергаются органические вещества алифатической природы. При температурах >400°С разрушается центральная часть молекул гумусовых веществ, состоящая в основном из бензоидных циклических структур. Согласно полученным данным, органическое вещество целинного чернозема состоит из пяти групп неоднородных по термоустойчивости компонентов, разрушающихся в интервале от 141 до 628 °С. Среди них преобладают довольно термоустойчивые алифатические структуры, подвергающиеся термодеструкции при 322 °С с потерей массы 50,77 %, их менее устойчивая часть разрушается при 141 °С с потерей массы 20,77 %. Общая потеря массы при термодеструкции алифатических органических веществ целинного чернозема составила 71,54 %. Циклические структуры органического вещества целинного чернозема более неоднородны по термоустойчивости и разрушаются при 416, 498 и 628 °С с общей потерей массы 22,65 %. В пахотных почвах малотермоустойчивые алифатические компоненты разрушаются при той же температуре, что и в целинном черноземе, но количество их возросло на 1,83-9,25 %. Количество более термоустойчивых алифатических компонентов возросло на 9,87-20,76 %, а температура их термодеструкции повысилась с 322 до 355-356 °С. Произошла деградация наименее устойчивых циклических структур, в результате чего бензоидные циклические компоненты стали более однородными по термоустойчивости при одновременном увеличении их вклада в органическое вещество чернозема на 2,94-4,90 %. Это отразилось на величине коэффициента Z, который уменьшился с 3,16 до 2,47-2,73.

ИК-спектры чернозема различного землепользования имеют весьма схожий характер. На них наблюдается относительно небольшой набор полос поглощения. Это связано с образованием органо-минеральных производных, в результате взаимодействия гумусовых веществ и глинистых минералов, которое сопровождается блокировкой многих функциональных групп, которые не проявляются на ИК-спектрах почвенных образцов. В целом на ИК-спектрах чернозема различного использования полоса поглощения при 1083 см⁻¹ является наиболее представительной и по существу определяет весь облик ИК-спектров. Исходя из этого, можно предположить, что в состав органического вещества чернозема типичного большой

вклад вносят полисахариды и продукты их трансформации. Под влиянием экстенсивного сельскохозяйственного использования чернозема интенсивность большинства полос поглощения, присущих органическим веществам уменьшается. Особенно заметные изменения произошли под влиянием бесменного пара, где интенсивность полос поглощения при 1036, 1384, 1630 и 2922 см⁻¹ связанных с присутствием в составе органического вещества чернозема как алифатических, так и ароматических соединений уменьшилась в 1.5-2 раза.

При длительном экстенсивном использовании чернозема типичного в пашне потери гумуса и ЛГВ под бесменными культурами достигают 25-30 и 37 %, а в условиях бесменного пара 48 и 47 % соответственно. При этом в составе гумуса возрастает доля инертных циклических структур. Согласно данным ИК-спектроскопии в формировании органического вещества чернозема типичного наряду со специфическими гумусовыми веществами большую роль играют полисахариды и продукты их трансформации.

УДК 631.4

ПАРАМЕТРЫ МУЛЬТИВРЕМЕННОЙ ЛИНИИ ПОЧВЫ И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА АГРОХИМИЧЕСКИМИ ЛАБОРАТОРИЯМИ

Рашкович В.Н., Рухович Д.И., Сулейман Г.А.

ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Москва, e-mail: soilmap@yandex.ru

Основной структурой, измеряющей содержание органического вещества почв (гумуса) на сельскохозяйственных (с.х.) землях России, является агрохимическая служба. В периоды максимальной активности агрохимическая служба обследовала все пахотные угодья с периодичностью в 5 лет. Все лаборатории службы проходят сертификацию и другие калибровочные проверки. Однако вопрос о возможности применения временных рядов данных агрохимического обследования для мониторинга содержания гумуса является открытым.

В данном исследовании оценивались результаты аппроксимации зависимостей между содержанием гумуса при точечном агрохимическом обследовании и величинами коэффициента "С" мультिवременной линии почвы (МЛП), вычисленными для областей отбора образцов для агрохимического обследования.

Коэффициент "С" МЛП является разновидностью усреднения мультिवременных спектральных характеристик открытой поверхности почвы (ОПП). Для его вычисления отбираются кадры данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Landsat в период с 1984 года по настоящее время. На каждом кадре выделяется область ОПП. Далее строится МЛП для каждого пикселя пахотных угодий. Коэффициент "С" является величиной удаленности центра эллипса распределения всех обнаруженных значений ОПП пикселя от начала координат в мультिवременном спектральном пространстве RED-NIR.

На территории Мценского района Орловской области в 2022 и 2023 годах были проведены агрохимические изыскания. Отбор образцов велся в окрестности точек с предварительно указанными координатами. Плотность точек составляла порядка 1 точки на 10 га. Изыскания проводились в одном и том же хозяйстве, но на разных полях. Поля 2022 и 2023 годов обследования практически чередовались в шахматном порядке. Оба обследования затрагивали следующий ряд почв: дерново-подзолистые, светло-серые лесные, серые лесные, темно-серые лесные, черноземы оподзоленные и черноземы выщелоченные.

Обе зависимости (2022 и 2023 гг.) между величинами содержания гумуса и коэффициента "С" МЛП имеют вид полинома 2 степени. Коэффициент детерминации (R^2) составляет 0.8. То есть карта величин коэффициента "С" МЛП может быть интерпретирована, как карта содержания органического вещества почв. RMSE (среднеквадратическая ошибка) составила

0.56 % (5.6 г/кг) для содержания органического вещества или 0.32 % (3.2 г/кг) для содержания органического углерода.

RMSE 0.56% можно считать соответствующей точности агрохимического обследования. То есть карта содержания гумуса по МЛП построена с точностью 0.5% содержания гумуса. Проблема заключается в том, что полиномы 2022 и 2023 годов не совпадают по местоположению в фазовом пространстве значений гумуса и величин коэффициента "С" МЛП. Полиномы одинаковы по R^2 и RMSE, но полиномы отстоят друг от друга на 0.5% содержания гумуса. То есть содержание гумуса по данным наземных измерений в 2023 году было на 0.5% меньше, чем содержание в 2022 году.

Расчеты коэффициента "С" проводились однократно до начала агрохимического обследования 2022 года на всю территорию Мценского района Орловской области. Оба распределения показывают, что величины коэффициента "С" имеют четкую функциональную связь с содержанием гумуса. Отличие местоположения полиномов может быть объяснено только систематическими ошибками между измерением содержания органического вещества разных лет.

Таким образом, измерение содержания гумуса наземными агрохимическими методами дает разброс в 0.5% в течение одного года измерений, и еще 0.5% между годами (или между серией измерений).

УДК 631.46

АКТУАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ АГРОГЕННЫХ И ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗА ДЕВЯТИЛЕТНИЙ ПЕРИОД ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В ЮЖНОМ ПОДМОСКОВЬЕ

Романова А.И., Маханцева В.А., Волкова Т.Ю., Лебедева Т.Н., Журавлева А.И., Митрохина Е.С., Курганова И.Н., Иващенко К.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, e-mail: gavrisheva.ast@gmail.com

Данные статистики Росстата указывают на сокращение посевных площадей с 1990 года по 2023 год примерно на 36,5 млн га. В настоящее время на большей части этих территорий происходит восстановление естественной экосистемы, сопровождающееся изменением состава растительности, характера почвообразования и свойств почв. Подсчитано, что общее накопление углерода (С) в постагрогенных экосистемах на всей территории России в первые 20 лет после вывода почв из сельскохозяйственного использования составляет в среднем 155 ± 27 млн т С в год. Такая оценка основана на сравнительной характеристике запасов С в почвах постагрогенных экосистем с таковыми современных пашен. Однако в этом случае при оценке скоростей накопления С в постагрогенных почвах не учитываются скорости изменения запасов С на пашнях. Следовательно, ретроспективный анализ показателей почвенного цикла С в постагрогенных и пахотных почвах позволит более корректно оценить актуальные скорости изменений запасов С. Работа направлена на оценку содержания и запасов С в серых почвах постагрогенных и пахотных экосистем спустя 9 лет их функционирования.

Исследования проводили на территории опытно-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, расположенной в южном Подмоскowie (ОПС ИФХиБПП РАН, $54^{\circ}49'N$; $37^{\circ}34'E$) в зоне распространения серых почв с широколиственными лесами. Объектами выбраны: пахотный участок (зерно-паровой севооборот), залежь 2008 г., представленная луговым разнотравьем (ЛГ) и залежь 2004 г. с молодым березовым лесом (БР) в точках исследования 2014 года. Для каждого объекта были выполнены геоботанические описания и отобраны почвенные образцы с различных глубин (0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см) в 4-х пространственно-удаленных точках. В почвенных

образцах анализировали содержание общего углерода (С) и рассчитывали его запасы в слое 0-30 см.

Суммарный запас С в слое почвы 0–30 см за 9 лет незначительно ($5,3 \text{ т С га}^{-1}$) снизился на пашне, за счет уменьшения в слое 20-30 см и неоднородности почвенного покрова. На залежах запасы С увеличились на 7,9 и $21,6 \text{ т С га}^{-1}$. При этом наиболее интенсивно почвенный углерод накапливается в верхних слоях горизонта (0-5 и 5-10 см). Максимальные запасы С в слое 0–30 см спустя 9 лет характерны для почв залежи с молодым березовым лесом (72 т С га^{-1}), а минимальные (45 т С га^{-1}) – для почв пашни. Таким образом, актуальная скорость накопления С в почвах залежей может составлять $0,87$ и $2,4 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ для лугового разнотравья и молодого леса соответственно.

Таким образом, проведенный ретроспективный анализ позволил оценить актуальную скорость изменения запасов С в залежных почвах и показал, что суммарный запас С в слое почвы 0-30 см за 9 лет существенно увеличился на залежах и незначительно снизился на пашне. Было показано, что переход пахотных почв в залежные, занятые луговой или молодой лесной растительностью спустя 9 лет приводит к накоплению С в верхней части бывшего пахотного горизонта и, особенно, в слое 0-5 см.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122111000095-8) и в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.417.2

РОЛЬ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ТРАНСФОРМАЦИИ И МИГРАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЭТАЛОННЫХ ПОЧВАХ НА ПРИМЕРЕ О.ВАЛААМ

Русаков Г.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
st098988@student.spbu.ru

Гумусовые вещества (ГВ) – это сложные смеси устойчивых к биодеструкции высокомолекулярных темноокрашенных органических соединений природного происхождения, образующихся при разложении растительных и животных остатков под действием микроорганизмов и абиотических факторов среды [Орлов и др., 1993]. Они играют колоссальную роль в процессах почвообразования, а также функционирования как самих почв, так и биосферы в целом. При этом процесс гумусообразования происходит не только в почвах. Они были обнаружены в морских и речных водах, болотах, торфе, угле, торфе, сапропеле, горючих сланцах. Выделяют ряд их биосферных функций: аккумулятивная позволяющая накапливать химические элементы, транспортная – заключается в формировании геохимических потоков веществ, протекторная – способствует связыванию токсикантов и регуляторная – обеспечивает структурную организацию почв и влияет на обменные процессы в природных объектах. Как в почвах, так и в природных водах гуминовые вещества участвуют в ряде биосферных процессов: формируют почвенный микроклимат, обеспечивают питание растений и биологическую доступность элементов, а также буферизацию почвенного раствора, влияют на мобильность тяжелых металлов, участвуют в распаде и транспорте гидрофобных органических веществ, формируют вторичные продукты дезинфекции при очистке воды и гетеротрофных смесей в составе сточных вод [Перминва 2008; Скрипкина, 2018; Волков, 2016].

Сорбции микроэлементов способствует высокое содержание карбоксильных и фенольных групп в структуре гумусовых кислот (ГК), что позволяет связывать ионы микроэлементов, в

том числе тяжёлые металлы (ТМ), в устойчивые комплексы. Помимо ТМ выделяется способность ГК связывать органические загрязнители за счёт полиароматической основы их структуры. Они участвуют в молекулярных и электронных окислительно-восстановительных реакциях. Будучи ионными полиэлектролитами, ГВ вступают в реакцию с анионами, катионами, нейтральными молекулами и соединениями поллютантов, в том числе радионуклидов. Реагируя с ТМ ГВ способны формировать комплексные соединения изменяя их мобильность. На свободную и общую концентрацию металлов как в почвах, так и в грунтовых водах могут повлиять даже мизерные концентрации ГВ. Их роль в фиксации и транспорте ионов металлов в водной и почвенной среде крайне важна, они влияют на растворимость и подвижность в средах, в сторону увеличения или уменьшения в зависимости от своей молекулярной массы и химического строения. Несмотря на то, что химические и физические свойства ГВ на настоящий момент изучены достаточно хорошо, определённый интерес вызывает их роль в связывании, сортировании и транспорте металлов в гетерогенных системах.

В работе рассматривается роль ГВ в закреплении, трансформации и миграции микроэлементов на примере гумусовых горизонтов почв острова Валаам. Материалом работы выступают образцы гумусовых горизонтов почв сформированных на четырех типах почвообразующих пород: ржавозём грубогумусовый подстилаемый плитой габбро-диабазы, органо-ржавозём, грубогумусовый на элюводелювии монзонитов подстилаемый плитой монзонита, агрозём постагрогенный на озёрных отложениях и серо-гумусовая глеевая почва. Почвы, сформированные на магматических породах, богаты окислами железа, марганца, и алюминия, которые совместно с ГВ, преимущественно фульватной природы, нередко образуют органоминеральные пленки на поверхности почвенных частиц. В ходе работы методом щелочного гидролиза были выделены препараты гуминовых и фульвокислот в которых была проведена оценка молекулярной структуры гумусовых веществ почв методом ^{13}C -ЯМР (твёрдофазный и жидкостной) и свободных радикалов методом ЭПР в твёрдых препаратах [Чуков, 2001]. Помимо этого, проводилась оценка элементного состава почв методом РФА и вытяжек из почв методом ИСР. Для оценки степени сорбции микроэлементов ГВ выполнено исследование микроэлементного состава препаратов ГК и фульвокислот почв методом ИСР с предварительной обработкой пероксидом водорода.

По результатам анализа почвы острова Валаам в особенности богаты такими элементами как Fe, Ti, Mn, Ba. Путём сравнения результатов анализа содержания микроэлементов в почвах и препаратов ГВ установлено, что значительная часть этих элементов находится в связанной с органическим веществом фракции. Полученные данные подтверждают высокую роль ГВ в сорбции и транспорте микроэлементов в гетерогенной почвенной среде.

Литература

Гуминовые вещества в биосфере / Под ред. Д.С. Орлова. М.: Наука, 1993. 238 с

Перминова И. В. Гуминовые вещества — вызов химикам XXI века. Химия и жизнь №1, 2008

Скрипкина Татьяна Сергеевна. Механохимическая модификация структуры гуминовых кислот для получения комплексных сорбентов: диссертация ... кандидата Химических наук: 02.00.21 / Скрипкина Татьяна Сергеевна; [Место защиты: ФГБУН Институт химии твёрдого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук], 2018

Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. / Изд. СПбГУ, 2001, 216 с.

Волков И. В. Реакции микроэлементов с гуминовыми кислотами как основа сорбционной дезактивации и очистки техногенных отходов: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук: 02.00.04 / И. В. Волков; [Место защиты: Институт химии твёрдого тела УрО РАН]. — Екатеринбург, 2016. — 164 с.

УДК 631.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ПОЧВЫ ОРГАНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ

Рыжова И.М.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, irzhova@mail.ru

Математическое моделирование является одним из наиболее эффективных методов изучения динамики органического вещества почв, позволяющих глубже понять поведение этой очень сложной открытой кинетически гетерогенной системы и прогнозировать ее реакцию на внешние воздействия (глобальное изменение климата, смена характера землепользования, агротехнические мероприятия и др.). В настоящее время известно около 250 моделей. Их разнообразие и особенности во многом определяются пространственно-временным масштабом описываемых процессов, а также обусловлены различиями основных концепций, лежащих в основе моделей. В широко распространенных традиционных моделях органическое вещество почв представлено конечным числом пулов, каждый из которых характеризуется позицией в структуре модели и специфической константой скорости разложения. Предполагается, что скорость разложения следует кинетике первого порядка. Как правило, эти модели имеют сходную структуру, которая представляет собой цепь, звеньями которой являются пулы с возрастающим временем оборота. Выбор пулов и их количество является умозрительным. Большинство из них не имеют экспериментально определяемых аналогов, что создает проблемы инициализации и проверки моделей. Традиционные модели (CENTURY, RothC, DNDC и др.) просты в математическом отношении и могут быть полезными для решения широкого круга экологических проблем. Однако они не отражают достижения последних двух десятилетий в понимании динамики органического вещества почв. Развитие экспериментальных методов изучения органического вещества почв и успехи почвенной микробиологии в значительной степени изменили представления о механизмах, определяющих его устойчивость. В соответствии с ними устойчивость органического вещества почв рассматривается как экосистемное свойство и определяется соотношением между его доступностью микроорганизмам и защитой от разложения в результате органоминеральных взаимодействий и образования микроагрегатов. В большинстве моделей новой генерации явно описаны субстрат-микробные взаимодействия, а пулы выделены на основе конкретных механизмов стабилизации органического вещества и могут быть определены экспериментально. В этих моделях представлен разнообразный набор допущений, связанных с микробным контролем процессов разложения и механизмами стабилизации органического вещества в почве, что обусловило их высокую структурную вариативность в отличие от традиционных моделей. В сложившейся ситуации для поиска адекватной структуры модели динамики органического вещества почв, уменьшающей неопределенность прогнозов, полезными могут оказаться сравнение и проверка моделей по одинаковым наборам экспериментальных данных. В настоящее время большое внимание уделяется концепции насыщения почв органическим углеродом. На основании результатов лабораторных и полевых исследований допускается существование верхнего предела («уровня насыщения») количества органического вещества, которое может закрепляться в почве. Предполагается, что закрепление ОВ происходит в результате органоминеральных взаимодействий и физической защиты от микробного разложения при включении в микроагрегаты. При моделировании насыщения почвы органическим углеродом в рамках традиционных моделей возникают трудности, связанные с тем, что пулы являются концептуальными, выбраны по скоростям оборота и не имеют измеряемых аналогов. Эта проблема исчезает при переходе к моделям, где пулы определены в соответствии с механизмами стабилизации органического вещества и могут быть определены экспериментально. Концепция насыщения почвы органическим углеродом представлена в некоторых моделях нового поколения (COMMISSION, Millennial model и др.).

В литературе представлены оценки уровня насыщения почв, полученные путем анализа большого массива данных, характеризующего содержание углерода во фракциях, выделенных по размеру или плотности, минералогию и гранулометрический состав естественных и сельскохозяйственных почв разных биоклиматических регионов. Показано, что уровень насыщения почв органическим углеродом определяется их минералогией и гранулометрическим составом, а степень насыщения зависит от климата, растительного покрова и характера землепользования. Эти количественные оценки могут быть использованы для параметризации моделей, описывающих насыщение почвы органическим углеродом.

В нашей работе обсуждаются результаты сравнительного анализа динамики органического углерода почв на основе двух базовых, не отягощенных деталями моделей - традиционной линейной и нелинейной модели SOCS (Soil Organic Carbon Saturation). Модель основана на предположении, что по мере заполнения углерод-протекторной емкости почвы уменьшается ее способность к защите органического вещества от микробного разложения. Она не описывает в явном виде каждый из механизмов стабилизации органического вещества в почве, а оценивает их интегральное влияние на поведение системы. Рассматривались двухкомпонентные модели. В традиционной линейной модели органический углерод почвы представлен двумя пулами, различающимися по скоростям оборота. Модель SOCS описывает динамику свободного (незащищенного) и защищенного органического вещества. Количественные оценки этих пулов могут быть получены по результатам гранулометрического или грануло-денсиметрического фракционирования. В качестве объекта исследования были выбраны черноземы Ростовской области. Оценка параметров моделей проведена путем калибровки по опубликованным данным о запасах углерода в пахотных и целинных средне и тяжелосуглинистых черноземах Южно-Русской провинции. Проведенный анализ показал, что в отличие от традиционной модели, демонстрирующей линейный рост стационарных запасов быстрого и медленного пулов с увеличением поступления органического углерода в почву, в соответствии с моделью SOCS линейно увеличивается только стационарный запас свободного органического вещества, тогда как стационарный запас защищенного органического углерода асимптотически приближается к уровню насыщения. По результатам моделирования черноземы характеризуются очень низкой долей свободного органического вещества по отношению к его общим запасам в верхнем слое почвы, что согласуется с литературными данными, полученными экспериментально. Для изучения отклика пахотных черноземов на увеличение поступления углерода в почву с растительными остатками и органическими удобрениями использованы результаты длительного полевого опыта Ростовского ФАНЦ «Эффективность минеральных и органических удобрений в зависимости от насыщенности ими севооборота». В рамках этого опыта была прослежена динамика содержания органического углерода в верхнем слое (0-30 см) чернозема обыкновенного тяжелосуглинистого в период 1974-2010 г. Расчеты на основе сравниваемых моделей, проведенные для вариантов опытов: абсолютный контроль без удобрений (вариант 1) и навоз 100 т/га + N580P330K330 за ротацию севооборота (вариант 2), показали, что в варианте «контроль» обе модели демонстрирует сходную динамику общего запаса углерода в почве в период опыта, но стационарное значение в соответствии с линейной моделью ниже, чем полученное на основе модели SOCS. В втором варианте модель «с насыщением» демонстрирует наблюдаемый в опыте слабый эффект от увеличения поступления углерода в почву с растительными остатками и удобрениями, тогда как линейная модель его завышает.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и

УДК 631.41

НАКОПЛЕНИЕ И СТРАТИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И ОБЩЕГО АЗОТА В ПРОЦЕССЕ ПОСТАГРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ

Самохина Н.П.¹, Филимоненко Е.А.¹, Курганова И.Н.², Лопес де Гереню В. О.², Зорина С. Ю.³, Соколова Л. Г.³, Дорофеев Н. В.³, Кузяков Я. В.⁴

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, samokhina_np@mail.ru;

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – ФИЦ «Пушинский научный центр биологических исследований РАН», Пушкино;

³ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск;

⁴Гёттингенский университет имени Георга Августа, Гёттинген, Германия

Почвы играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, поскольку являются главным резервуаром углерода в наземных экосистемах. Экосистемы России выполняют важную роль в глобальных процессах стабилизации климата.

Изменение режимов землепользования, такое как конверсия пахотных угодий в залежные, существенно влияет на процессы накопления углерода в почвах. При выводе земель из сельскохозяйственного оборота в агроэкосистемах происходит восстановление естественной растительности и накопление органического углерода (С), азота (N), сопровождающееся увеличением их стратификации по глубине почвы.

Оценка влияния постагрогенного восстановления пахотных почв на динамику и стратификацию запасов С, N проводилась на примере хроноряда, включающего действующую пашню, залежи возрастом 7 и 25 лет и суходольный луг. Объекты исследования расположены на территории полевого стационара СИФИБР СО РАН в Заларинском районе Иркутской области. Почва района исследования классифицирована согласно WRB как *Haplic Luvisol*. На каждом из участков исследования в трех пространственных повторностях были отобраны послойно пробы почв с глубин 0-5, 5-10, 10-20 и 20-30 см. Для определения плотности сложения почвы (BD , $г/см^3$) применялся метод режущего кольца. Содержания органического углерода ($C_{орг}$) и общего азота ($N_{общ}$) в почвах определяли методом сухого сжигания на элементном анализаторе *Vario Pyro Cube Analyzer* (Elementar, Германия). Запасы C_{stock} и N_{stock} ($кг/м^2$) рассчитывали послойно с учетом содержания $C_{орг}$ и $N_{общ}$ на каждой их глубин отбора ($г/кг$ почвы), плотности сложения почвы ($г/см^3$) и мощности слоя (H , см). Оценку степени дифференциации органического вещества в пределах почвенного профиля при конверсии пашни в залежь проводили с помощью стратификационного соотношения (*stratification ratio*, SR), рассчитанного для C_{stock} и N_{stock} . Величина SR рассчитывалась как отношение между запасами C_{stock} и N_{stock} в почвах на глубине 0-10 см и 20-30 см – SR (0–10:20–30). Все лабораторно-аналитические исследования почв проводились в Центре изотопной биогеохимии и Лаборатории почвоведения и изотопной биогеохимии Тюменского государственного университета.

Запасы С и N и их стратификационное соотношение в пахотных, постагрогенных и естественных почвах представлены на рис. 1. В процессе постагрогенной эволюции почв накопление С в верхних 30 см почвы происходит со скоростью $415 гC/м^2$ в год за период 7 лет после прекращения распашки и $168 гC/м^2$ в год после 25 лет залежного режима. Запасы органического углерода в почве 7-летней залежи на глубине от 0 до 30 см составляют $10,5 кг C/м^2$, что в 1,4 раза выше значений C_{stock} в пахотных почвах ($7,6 кг C/м^2$). Через 25 лет после прекращения распашки значения C_{stock} в верхних 30 см почвы составляют $11,8 кг C/м^2$ и превышают аналогичные значения для пашни в 1,5 раза.

Спустя 7 лет после прекращения распашки скорость накопления N в верхних 30 см почвы достигает $31 гN/м^2$ в год. После 25 лет залежного режима эта скорость снижается до $11 гN/м^2$

в год. В результате запасы общего азота в верхних 30 см почвы на участке 7-летней залежи составляют 0,76 кгN/м², что превышает значения N_{stock} для пашни в 1,4 раза. В почве 25-летней залежи запасы N в верхних 30 см почвы достигают 0,82 кгN/м², превышая аналогичные значения в пахотных почвах в 1,5 раза.

В процессе постагрогенного восстановления происходит постепенная стратификация запасов C и N в пределах почвенного профиля. В пахотных почвах значения стратификационного соотношения (0-10:20-30) для C_{stock} и N_{stock} соответствует 1,0, что показывает однородность распределения запасов внутри пахотного горизонта. В ходе постагрогенной сукцессии величина SR увеличивается до 1,2 в почве 7-летней залежи и до 1,3 в залежной почве возрастом 25 лет. В то время как в почве суходольного луга величина SR C_{stock} и N_{stock} достигает 1,7 и 2,0 соответственно.

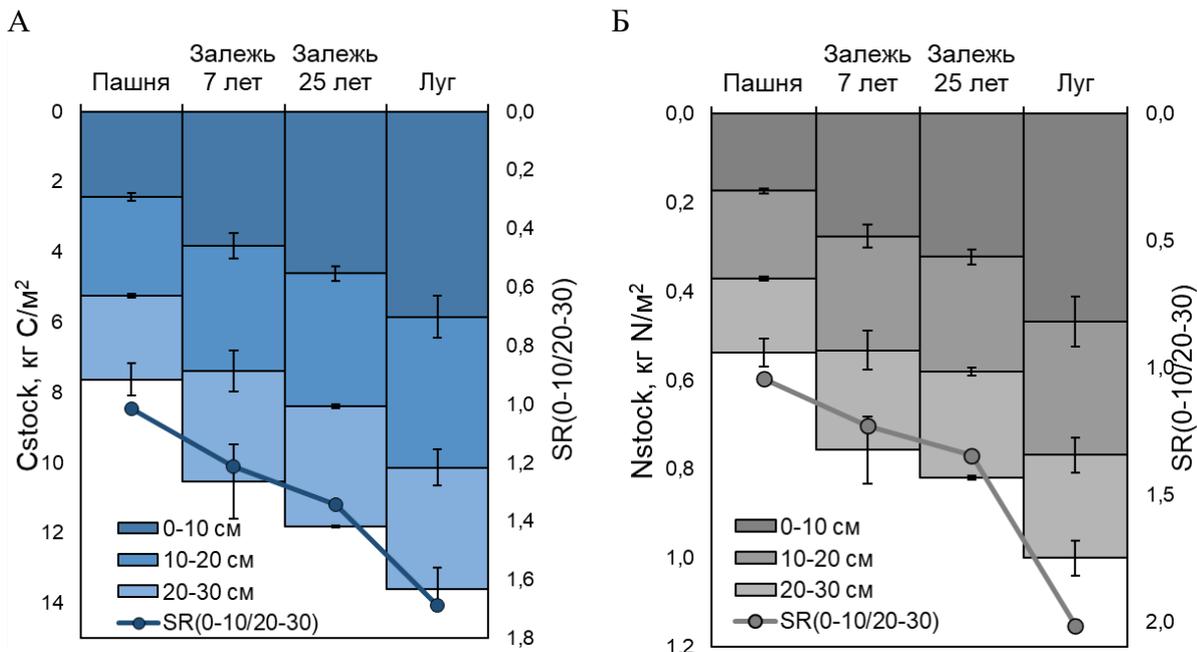


Рисунок 1: Запасы органического углерода, C_{stock} (А), общего азота, N_{stock} (Б) и коэффициенты их стратификации - SR (0-10:20-30), в пахотных, постагрогенных и естественных почвах Иркутской области на разных глубинах (0–10 см, 10–20 см, 20–30 см).

Процесс постагрогенной эволюции сопровождается восстановлением естественной растительности и ведет к формированию органоминеральных горизонтов (аналоги гумусового горизонта целинных почв) и к увеличению запасов углерода и азота, особенно в верхней части почвы. Кроме того, в залежных почвах происходит стратификация запасов органического углерода и общего азота, в отличие от пахотных почв, где из-за распашки запасы распределяются равномерно на разных глубинах. Стратификация почвенного профиля в залежных почвах происходит вследствие интенсификации поступления в верхнюю часть почвы органического вещества из формирующейся подстилки. Накопление запасов C и N в почвах в процессе постагрогенной сукцессии оказывает влияние на водоудерживающую способность почв, на обеспечение растений питательными веществами, создает стабильную среду для почвенных микроорганизмов, что в совокупности способствует поддержанию экосистемной устойчивости.

Исследование выполнено при поддержке проекта «Устойчивость и функции почвенного углерода в агроэкосистемах России (CarboRus)», № 075-15-2021-610.

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ И СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СРЕДНЕТАЁЖНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ СПЛОШНОЙ РУБКИ

Севергина Д.А.

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: severgina.darja@gmail.com

Органическое вещество почвы (ПОВ) представляет собой сложный гетерогенный континуум материалов и соединений, отличающихся по стабильности и продолжительности существования. Поступающее в почву органическое вещество локализуется в почвенной матрице в соответствии с преобладающим механизмом стабилизации, образуя разные пулы: свободное ОВ (СОВ), локализуемое в межагрегатном поровом пространстве и внутри агрегатов окклюдированное ОВ (ООВ), и ОВ, прочно связанное с минеральной фракцией (ТФ). Особенности количественного и качественного состава разных пулов ОВ отражают соотношение процессов образования и разложения органического вещества и его взаимодействия с элементарными почвенными частицами и являются функцией всех факторов почвообразования. Рубки являются одним из главных факторов, изменяющих лесные почвы, которые в последующем переводят их из естественно развивающихся почв в антропогенные. Территория вырубок неоднородна по степени воздействия, так как основные нарушения почвенного покрова находятся на трелёвочных волоках, которые могут достигать до 30% от площади лесосеки. На таких территориях в первую очередь нарушается потоки почвенного органического вещества.

Цель работы – оценить содержание почвенного органического вещества в подзолистых почвах вырубки средней тайги при разной интенсивности воздействия колесной лесозаготовительной техники в первые три года после воздействия.

Объекты исследования располагались на участке хвойно-лиственного насаждения в подзоне средней тайги Республики Коми. В период полевого сезона 2020 года были исследованы исходные подзолистые почвы. После рубки было заложено 4 почвенных разреза: пасечный участок, участок волока с тремя проходами форвардера (ЗП), участок волока с десятью проходами (10П) и участок волока с десятью проходами и с последующим выравниванием (10Р). Отбор почвенных проб производился в летний период с 2020 по 2023 года.

Диагностика трансформируемых почв проводилась при помощи «Полевого определителя почв» (2008). Для выделения различных фракций почвенного органического вещества применяли денсиметрическое фракционирование. Метод позволяет разделить почву на фракции, различающиеся по составу, активности участия углерода в биологическом круговороте и времени пребывания в почве на активный «молодой» углерод, входящий в состав легких фракций свободного (СОВ_{<1,6}) и окклюдированного (ООВ_{<1,6}) органического вещества, и медленный «старый» углерод тяжелой фракции (ТФ_{>1,6}). Содержание углерода в денсиметрических фракциях определяли на элементном анализаторе EA-1100 (Carlo Erba) в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Твердотельные CP-MAS ¹³C-ЯМР спектры образцов регистрировали на спектрометре Bruker Avance-III 400 WB (Bruker, Германия) на частоте 100.53 МГц. Предварительно образцы обрабатывали 10% плавиковой кислотой для удаления парамагнитных примесей изотопов железа.

Анализ содержания денсиметрических фракций верхних минеральных горизонтов, исследованных почв, выявил, что основную долю занимают тяжелые фракции ПОВ (ТФ_{>1,6}) – до 98%. Содержание легких денсиметрических фракций СОВ_{<1,6} и ООВ_{<1,6} в большинстве почв крайне низкое (до 8%).

Несмотря на низкое содержание, основной пул углерода содержится именно в легких фракциях ПОВ. На участке с десятью проходами содержание углерода варьируется от 0,07 до 2,4%, что, скорее всего, обусловлено попаданием большого количества древесных остатков в турбированный горизонт и их постепенным разложением. Свободное органическое вещество за три года либо уменьшается (пасека, ЗП, 10Р), либо остаётся практически таким же (10П), как на исходном участке леса. Окклюдированное органическое вещество на волоках с тремя и десятью проходами имеет возрастающую тенденцию. На

остальных участках (пасека, 10Р) отмечается синусоидальная волна с наибольшим пиком, приходящим на второй год рубки. Тяжёлая фракция всех почв бедна и содержит на пасечном участке и волоке с тремя проходами от 0,08 до 2,4% углерода. Причем максимум приходится на второй год после рубки.

Важным признаком является вклад углерода отдельной фракции в общий углерод почвы. Наибольший вклад в общее содержание углерода вносят СОВ и ООВ: на исходном участке суммарно 60% углерода сосредоточено в лёгких фракциях, на пасеке и волоке с тремя проходами 40–50%; на волоках с десятью проходами – от 40 до 80%.

В результате, во всех исследованных механически нарушенных почвах возрастание общего содержания углерода происходит за счёт углерода соединений, находящихся в свободной и окклюзированной форме.

Состав органического вещества органогенного горизонта почвы пасеки, как и почвы исходного участка, характеризуется преобладанием алифатических структур 75,4-99,3%, которые состоят в основном из алкильных соединений alkyl-C (6,4-33,8%) и групп, связанных с гемицеллюлозой CAlk-O (30,0-57,6%). Карбоксильные фрагменты составляют наименьшую долю (0,0-7,9%) в составе органического вещества. Доля ароматических соединений составляет от 0,6 до 24,6%. Выявлено, что в верхнем подгоризонте подстилки пасечного участка однолетней вырубке возрастает доля арильного углерода, что приводит к некоторому возрастанию степени ароматичности. В составе верхнего подгоризонта подстилки возрастает доля метоксильного углерода, входящей в состав лигнинов, что вероятно обусловлено залповым поступлением ветвей и различных порубочных остатков. На третий год после рубки в составе ПОВ подстилок почвы пасечного участка выявлено увеличение соединений, связанных с гемицеллюлозой (49,5-57,6%). Некоторые тенденции изменения органического вещества наблюдаются в нижнем подгоризонте подстилок. В них уменьшается доля алкильных структур и атомов углерода, связанных с целлюлозными фрагментами. Так же в составе ПОВ несколько возрастает содержание ароматических фрагментов. Степень разложения органического вещества отражается на соотношении alkyl/O,N-alkyl и варьирует от 0,1 до 0,7. В почве волока с тремя проходами состав молекулярных фрагментов ПОВ схож с показателями исходного леса и пасечного участка. Важным отличием является увеличение содержания ароматических фрагментов ПОВ по сравнению с пасечным участком (21,1-28,4%). Выявлено увеличение соединений CAr-O,N (5,2-9,0%) и CAr-H(C) (15,9-23,2%). Органическое вещество почв механически нарушенных участков волоков с десятью проходами колесной техники, характеризуется близкими к исходной почве значениями по содержанию молекулярных фрагментов. Но при этом, в них выявлена более высокая доля более устойчивых ароматических компонентов, которая сохраняется в составе органического вещества механически нарушенных участков. Увеличение ароматичности ПОВ достигается за счет возрастания незамещенных или алкилзамещенных ароматических структур и O-замещенных фрагментов.

В целом, оценка содержания молекулярных фрагментов в составе органического вещества верхних подгоризонтов подстилок вырубки и волоков с различным числом прохода форвардера с использованием твердофазной ¹³C-ЯМР спектроскопии показала, что непосредственно после рубки состав органического вещества остается достаточно стабильным, но с некоторым увеличением ароматичности ПОВ в почвах волоков.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 23-74-10007

<https://rscf.ru/project/23-74-10007/>.

УДК 631.4

ЛАБИЛЬНОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ
БУРОЗЕМОВ ПРИМОРЬЯ

Сердюк В.В., Розанова М.С.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, lerases01@gmail.com, rozanova_ms@mail.ru

Почвы юга Дальнего Востока характеризуются широким морфогенетическим разнообразием. Это связано, прежде всего, с уникальными условиями их формирования – расположением в прибрежной зоне Тихого океана, муссонным климатом, разнообразием почвообразующих пород и составом растительности. В настоящее время существует проблема в классификации бурых лесных почв из-за разнообразия факторов, влияющих на их формирование, и их широкого ареала распространения. На данный момент внимание ученых направлено на изучение группового состава железа буроземов, работ по содержанию и свойствам органического вещества (ОВ), в частности лабильного органического вещества (ЛОВ) немного.

Цель: охарактеризовать лабильное органическое вещество (ЛОВ) и ферментативную активность буроземов Приморского края

Задачи: 1. Оценить содержание углерода органических соединений (Сорг), водорастворимых органических соединений (Свов), лабильных гумусовых веществ (Слгв). 2. Оценить ферментативную активность почв по содержанию каталазы, инвертазы, дегидрогеназы.

Объекты исследования: буроземы, расположенные на юге Приморского края (в Уссурийском городском округе и Надеждинском р-не)

Содержание Сорг в исследуемых почвах уменьшается с глубиной во всех разрезах.

Наибольшее накопление Сорг в гумусовых горизонтах (6,51%) наблюдается в буроземе разреза №2 под кленом, наименьшее – в буроземе типичном ненасыщенном мелком (разрез №5) (1,64%) под разнотравьем. Под широколиственными породами (Разрез 2, 4) накапливаются лабильные гуминовые кислоты (ЛГК) в верхних горизонтах с возрастанием их доли в нижележащих. Возможно, это связано с выносом как ЛГК, так и лабильных фульвокислот (ЛФК) в нижележащие горизонты, а также более активным потреблением ЛФК микроорганизмами. Преобладание содержания ЛГК в верхнем горизонте разреза №3 обусловлено, возможно, образованием устойчивых гуминовых кислот и насыщенностью основаниями (преимущественно кальцием), а также большим количеством широколиственных пород по сравнению с разрезом №1. Проведенные исследования показывают, что во всех 5 почвах содержание Свов уменьшается с глубиной. Наибольшее содержание Свов в верхнем горизонте отмечено в почве (0.11%) под хвойно-широколиственным лесом (разрез №1), наименьшее (0.05%) - под разнотравьем (разрез №5). Это объясняется, возможно, большим поступлением растительной биомассы в хвойно-широколиственном лесу и более легким гранулометрическим составом разреза №5, соответственно, более быстрым вымыванием из профиля водорастворимых соединений. Несмотря на высокую биопродуктивность лесов, доля легкодоступного ОВ гораздо ниже, чем под разнотравьем.

Несмотря на то, что почвы не являются пахотными, было оценено содержание ЛГВ по шкале, предложенной Мамонтовым с коллегами (2009) для пахотных почв. Хорошо видно, что почвы, сформированные под лесом, обладают высоким содержанием ЛГВ, которое, в большинстве случаев, снижается в нижележащих горизонтах. В почве легкого грансостава под разнотравьем содержание ЛГВ ниже, и оно повышается в гор. АУВМ за счет скопления корней и, соответственно, увеличения поступления подземного опада (Таблица 1).

Таблица 1. Оценка содержания ЛГВ в буроземах

№ разреза, название	Горизонт, глубина, см	Слгв, мг/кг	Оценка содержания ЛГВ
1 Бурозем темный типичный ненасыщенный маломощный	AU (0-35)	10993	Высокое (>4500)
2 Бурозем глееватый ненасыщенный мелкий	AУ (0-14)	15353	Высокое (>4500)
	AУВМ (14-27)	8656	

3 Дерново-элювиальная-метаморфическая почва ненасыщенная мелкая	AY (0-19)	8719	Высокое (>4500)
4 Бурозем типичный ненасыщенный крайне мелкий	AY (0-7)	10993	Высокое (>4500)
	AYBM (7-12)	3791	
5 Бурозем типичный ненасыщенный мелкий	AY (0-12)	6697	Высокое (>4500)
	AYBM (12-25)	8213	

По содержанию ферментов буроземы наиболее богаты каталазой, в отличие от инвертазы и дегидрогеназы. По содержанию каталазы богатыми являются буроземы темный и типичный ненасыщенный мелкий (разрезы №1,5), для остальных почв (разрезы №2-4) характерна средняя обогащенность каталазой. По содержанию дегидрогеназы бедными являются почвы разрезов №1, 5, средне обогащенными – почвы разрезов №2, 3, 4. Наименее активным ферментом в исследуемых буроземах является инвертаза, что связано, возможно, с низким содержанием сахарозы в ВОВ. Во всех почвах содержание ферментов убывает с глубиной, за исключением бурозема (разрез №5), в котором на глубине 40-60 см наблюдается максимум содержания каталазы и дегидрогеназы.

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА АГРОЧЕРНОЗЕМОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НУЛЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Сушко С.В.¹, Иващенко К.В.¹, Дворников Ю.А.^{1,2}, Непримерова С.В.³, Орлова Л.В.⁴

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, rogovaja7@mail.ru;

²Российский университет дружбы народов, Москва;

³Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург;

⁴Национальное движение сберегающего земледелия, Самара

В последнее десятилетие технологию нулевой обработки почвы активно адаптируют к условиям нашей страны и преимущественно в черноземной зоне. Данная технология предполагает полный отказ от механической обработки почвы и предусматривает сохранение измельченных растительных остатков на ее поверхности. В результате этого значительно снижается водная и ветровая эрозия, улучшается структура почвы, повышается ее водоудерживающая способность и биологическая активность. В то же время эффективность нулевой обработки в стабилизации почвенного органического вещества (ОВ), обеспечивающей его устойчивое накопление и сохранение, не подтверждена достаточным количеством исследований и остается дискуссионной. В связи с этим наша работа была сфокусирована на оценке качества почвенного ОВ при использовании нулевой и традиционной обработок агрочерноземов в условиях Среднего Поволжья. Для этого в Похвистневском районе Самарской области было выбрано два сельскохозяйственных поля с 5- и 8-летней нулевой обработкой (ООО «Орловка–АИЦ») и одно – с традиционной вспашкой (КФХ «Селин»). До внедрения нулевой обработки на исследуемой территории применялась традиционная вспашка. В пределах каждого поля (площадь 42-161 га) было выбрано по 30 точек исследования с учетом варьирования морфометрических характеристик рельефа, в которых осенью 2022 г. отбирали почвенные образцы из верхнего 0-10 см слоя. Качество почвенного ОВ оценивали через его распределение в составе двух фракций – дисперсного (particulate organic matter, POM) и минерально-ассоциированного ОВ (mineral-associated organic matter, MAOM), различающихся по доступности к биодеструкции и периоду оборачиваемости. Физически менее защищенная фракция POM характеризуется меньшим периодом оборачиваемости (несколько лет – десятки лет), чем прочно связанная с минералами фракция MAOM (десятки – сотни лет). Разделение этих двух фракций было

выполнено методом «мокрого просеивания» с дифференциацией частиц на 53-2000 мкм (POM) и <53 мкм (MAOM). Содержание углерода (C) в выделенных фракциях определяли с помощью CHNS анализатора Vario EL III (Elementar, Германия). Доступность почвенного ОВ к биодеструкции дополнительно оценивали через скорость его микробного разложения (базальное дыхание, БД), выраженную на единицу органического углерода (БД:С_{орг}). Чем выше данная величина, тем более доступно ОВ для микробной минерализации и потери С в виде СО₂. Содержание С_{орг} определяли по разнице общего (CHNS анализатор) и минерального углерода (манометрический анализ).

Отмечена тенденция увеличения содержания С_{орг} почвы верхнем 10 см слое почвы от вспашки к нулевой обработке в среднем на 0.2–0.3%, при этом значимых различий между сравниваемыми технологиями не обнаружено ($p > 0.05$, критерий Тьюки). Однако отмечается значимое изменение качества почвенного ОВ (Рис.). Так при переходе от традиционной вспашки к нулевой обработке происходит значимое увеличение доли стабилизированной фракции МАОМ (в среднем с 45% до 57%) и снижение величины БД:С_{орг} (с 32 до 11 мкг С г⁻¹ С ч⁻¹). Таким образом, технология нулевой обработки почвы является весьма перспективной для устойчивого сохранения ОВ в агрочерноземах Среднего Поволжья.

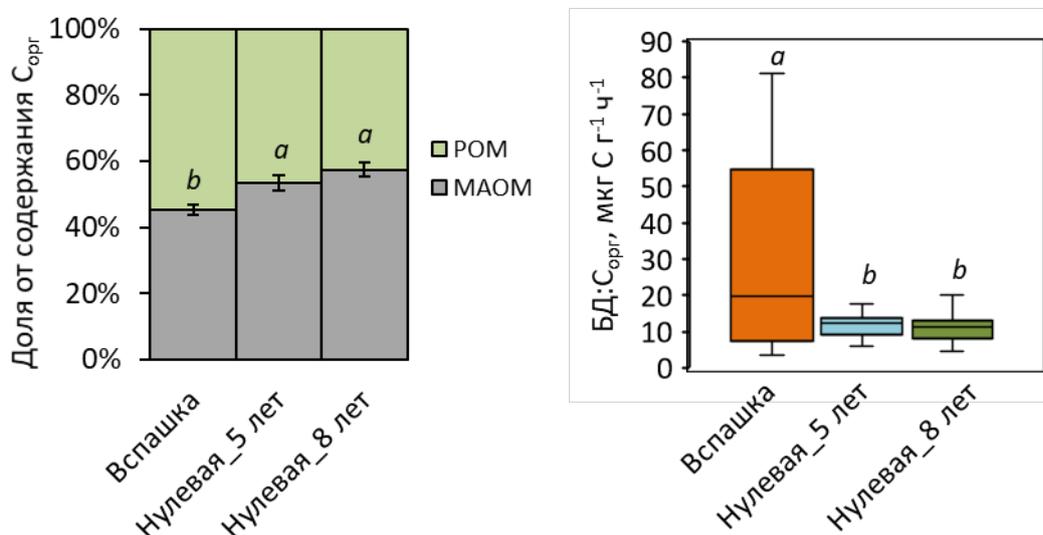


Рисунок – Доля содержания дисперсного (POM) и минерально-ассоциированного органического вещества (MAOM) в общем С_{орг} (слева) и удельная скорость его минерализации (БД:С; справа) для агрочерноземов с разными обработками. Разные буквы показывают значимые различия при $p < 0.05$ (критерий Тьюки)

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема № 122111000095-8).

УДК 631.417.2

ОЦЕНКА ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО РАЙОНА Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

Сюй Шаохуэй¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, e-mail: st059107@student.spbu.ru

Урбанизация — это глобальный процесс, при котором роль городов в развитии общества возрастает и сопровождается изменением социального и экологического ландшафта, повышением роли городского населения и интенсивным землепользованием. Городские

почвы отличаются отсутствием строения и свойств, характерных для естественных зональных почв и наличием мощных культурных слоев. История формирования почвенного покрова Санкт-Петербурга изучена довольно неплохо. В исторической части Санкт-Петербурга мощность культурного слоя, перемешанного со строительным материалом, составляет до 2-4 м. Несмотря на то, что рекреационные зоны города рассматриваются как наименее нарушенные урбоэкосистемы, следы естественных почв можно найти только в погребенном состоянии. Верхний слой почвы газонов и скверов, относящийся к реконструированным объектам урбоэкосистем, имеет искусственное происхождение с использованием наиболее гумусированных материалов.

Органическое вещество почвы является одним из главных факторов обеспечения устойчивого функционирования экосистем, в том числе, и урбоэкосистем. Состав гумуса является важным показателем для характеристики органической части почв. Параметры гумусового состояния определяют не только плодородие почв, но и характер функционирования всей почвенно-растительной системы, что, несомненно, важно при изучении почв городских территорий. Изучение состояния системы гумусовых веществ позволяет определить направление образования, трансформации и миграции органического вещества и связанных с ним соединений в почвенном профиле. В последнее время возрастает интерес к исследованию биохимических процессов, протекающих в городских почвах, однако до сих пор они остаются недостаточно изученными.

Цель данного исследования было оценить гумусовое состояние почв в основных функциональных зонах на территории Василеостровского района в рамках комплексного эколого-биологического обследования городских почв Санкт-Петербурга.

На территории Василеостровского района были заложены 20 площадок: на газонах вдоль Большого проспекта ВО и прилегающих к нему линий, в парке Василеостровец и в двух закрытых дворах. Почвенные образцы отбирались с глубины 0-20 см. Объединенная проба почвы составлялась из 10-15 точечных проб. Для оценки гумусового состояния были использованы следующие показатели: содержание общего органического углерода и азота (сухим сжиганием на СНН-анализаторе LECO), содержание водорастворимого углерода (по Шульц-Кершенсу), состав гумусовых веществ с использованием двух вытяжек 0.1 М NaOH и 0.1 М Na₄P₂O₇ и оптическая плотность гумусовых веществ (по Плотниковой-Пономаревой). Исследованные почвы характеризуются высоким содержанием общего углерода и относительно широким отношением C/N. При этом в составе органического вещества доля растворимых гумусовых веществ крайне мала, а основная его часть представлена негидролизующим остатком. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что по составу гумуса городские почвы существенно отличаются от зональных почв, что, вероятно, связано с изменением условий трансформации органического вещества и загрязнением органическими поллютантами.

УДК 631.872+631.427.4

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ ГУМИНОЙ КИСЛОТЫ

Торопкина М.А.¹, Рюмин А.Г.²

¹ЗИН РАН, Санкт-Петербург, marimiana.toropkina@gmail.com;

²СПбГУ, Санкт-Петербург, a.ryumin@spbu.ru

Работа посвящена изучению биологической активности гуминовых кислот (ГК). Особое внимание уделено их антиоксидантной активности, которая проявляется в отношении биоты и неживых компонентов окружающей среды.

Наше исследование посвящено взаимодействию живых организмов, в частности водоросли *Chlorella vulgaris*, и ГК в жидких средах, где дополнительно присутствуют растворенные минеральные соли, входящие в состав питательной среды. Существование водоросли *Chlorella vulgaris* связано с поглощением и выделением молекулярного кислорода. Он не

только участвует в различных физиологических процессах, но и непосредственно является необходимым компонентом для существования водоросли. Избыточное содержание кислорода оказывает отрицательное воздействие на живые организмы, связанное с нарушениями различных клеточных структур. Этот эффект называется окислительным или оксидативным стрессом (Хозеева, 2010). В живом организме постоянно протекают различные окислительно-восстановительные реакции, и в ходе реакций неполного (одно-, двух и трехэлектронного) восстановления кислорода образуются активные формы кислорода (АФК), которые и проявляют разрушающее действие в клеточных структурах. Более подробное описание представлено в нашей статье «Оценка изменения параметров системы «питательная среда – зеленая водоросль – гуминовая кислота» во времени» (Торопкина и др., 2023).

Из-за особенностей своего строения ГК обладают различными физико-химическими свойствами и типами взаимодействия с почвенным раствором и биотой. За антиоксидантную активность (АОА) ГК отвечают донорно-акцепторные и окислительно-восстановительные реакции. Многие реакции, в которых участвуют ГК, проходят по свободно-радикальному типу с участием стабильных свободных радикалов (СР), о наличии которых в молекулах ГК известно достаточно давно (Чуков, 2001; и мн. др.). С другой стороны, ГК также могут выступать в роли «ловушек» для короткоживущих СР и обладают АОА в отношении супероксид-анион-радикала – ключевой активной формы кислорода, взаимодействующей с клеточными белками. Ловушками таких радикалов в молекулах ГК являются могут быть СР семихинонного типа, которые активируют процессы восстановления кислорода, что и обуславливает АОА ГК (Торопкина, 2023).

В жидких средах АОА возможно оценить по изменению содержания растворенного кислорода. Это указывает на участие кислорода в окислении различных компонентов окружающей среды (в том числе и ГК), потреблении биотой при дыхании, либо выделении в окружающую среду в процессах фотосинтеза.

Исследования проводили, используя препарат ГК из верхней пятисантиметровой толщи серой пахотной почвы, извлечённый щелочным раствором (Чуков, 2001). Тест-объектом выступала водоросль *Chlorella vulgaris*, в отношении которой указанный выше препарат ГК обладает наиболее выраженной физиологической активностью (Торопкина и др., 2017). Во всех вариантах опыта, где присутствовала ГК, её концентрация в растворе составляла 0,003 % (по массе).

Водоросль выращивали в питательной среде Тамия. Варианты опыта были следующие: только водоросль, водоросль в присутствии ГК, только ГК. Все варианты экспонировались на свету в условиях искусственного освещения и в темноте, время экспозиции составляло 1 и 5 суток. Во всех вариантах опыта определяли содержание кислорода, изменение интенсивности флуоресценции (ИФ) (на длинах волн 270 нм и 420 нм), оптическую плотность суспензии, а также размеры и численность клеток.

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что препарат ГК влияет на культуру водоросли *Chlorella vulgaris*, увеличивая ее первичную продукцию и количество клеток. Влияние ГК на зеленые водоросли во многом связано с изменением характеристик окружающей среды. Во-первых, они не позволяют концентрации растворенного кислорода в среде достигать высоких значений, которые могут быть токсичными для клеток; во-вторых – хотя и незначительно (в тех концентрациях, которые использовались в экспериментах), они ограничивают количество света, попадающего на клетки водорослей. Препарат ГК серой пахотной почвы проявляет АОА, что снижает стресс, вызванный «избытком» кислорода. Наибольшие различия в опытах обусловлены наличием или отсутствием освещения, что наиболее ярко проявляется на 5-й день и указывает на светоиндуцированную природу снижения содержания кислорода. В экспериментах с водорослями максимальное количество кислорода выделяется в присутствии препарата ГК на свету и держится на постоянном максимальном значении около 14 мг/л (на 1 и 5 день), при этом отмечено увеличение числа

клеток водорослей на 5-й день «светового» опыта, что подтверждает физиологическую стимуляцию ГК размножения клеток и снижение окислительного стресса для водорослей в присутствии ГК. В присутствии ГК отмечен меньший размер клеток водорослей, чем в варианте без ГК в начале эксперимента, что может быть связано с осмотическим эффектом действия ГК. Дальнейшее уменьшение размера могло быть вызвано усиленным делением клеток и увеличением их количества, наблюдаемым в эксперименте. В присутствии препарата ГК заметно небольшое увеличение интегральной интенсивности флуоресценции *Chlorella vulgaris*, но значительно меньшее, чем в вариантах опытов с одной только водорослью. В тоже время изменений в спектре флуоресценции самого препарата ГК не установлено. Это еще раз подтверждает, что ГК в среде играют стабилизирующую роль. Исследования проведены при поддержке ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» научного парка СПбГУ, проект № 118-16535.

УДК 631.417

СОСТАВ ТЕРМИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ И ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ РАЗЛИЧНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Фарходов Ю.Р., Холодов В.А., Семенов М.В.

ФИЦ Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, yulian.farkhodov@yandex.ru

Строение почвенного органического вещества (ПОВ) является чувствительным показателем агрогенной и постагрогенной трансформации почв. На основе свойств, функций, состава и особенностей образования ПОВ разделяют на пулы: лабильный и стабильный. Для изучения пулов ПОВ используют множество подходов по фракционированию ПОВ. Одним из возможных подходов является термическое фракционирование. В рамках этого подхода одним из перспективных методов является аналитический пиролиз, современные возможности которого позволяют выделить термолабильную (ТЛ) и термостабильную (ТС) фракции ПОВ и изучить их состав. Влияние агрогенной и постагрогенной трансформации почв, главным образом, связаны изучением соотношения термических фракций ПОВ, при этом их состав остается малоизученным. Целью исследования было оценить состав термических фракций органического вещества черноземов и дерново-подзолистых почв различного вида использования.

Были изучены типичные черноземы (Курская обл.) и дерново-подзолистые почвы (Тверская обл.) различных видов использования: черноземы под пашней и залежью, дерново-подзолистые почвы под пашней, пастбищем, сенокосом и залежью. Для оценки состава термических фракций использован двухстадийный аналитический пиролиз с газовой хроматографией и масс-спектрометрией. Для характеристики состава термических фракций изучали относительное содержание пиролизатов термолабильного и термостабильного ПОВ. Пиролизаты ТЛ и ТС ПОВ были представлены 39 и 57 соединениями соответственно. В ходе исследования установлено, что состав ТЛ ПОВ черноземов по сравнению с дерново-подзолистыми представлено пиролизатами компонентами сильно трансформированного ПОВ. Основные различия в составе ТЛ ПОВ залежных черноземов по сравнению с пахотными обусловлены высоким содержанием пиролизатов липидов. Для дерново-подзолистых почв выявлено заметное увеличение доли пиролизатов лигнинов в почвах под сенокосом и залежью, и уменьшением содержания пиролизатов углеводов и липидов для почв под пашней и пастбищем. По составу ТС ПОВ черноземы отличались от дерново-подзолистых почв высокой долей пиролизатов гетероциклического строения. Пахотный черноземы по сравнению с залежными отличались высокой долей моноциклических ароматических углеводородов. В ТС ПОВ дерново-подзолистых почв выявлено заметное увеличение доли фенолов в почвах под сенокосом и залежью, и увеличением доли ароматических углеводородов под пашней и пастбищем. Таким образом, в результате исследования показаны особенности состава термических фракций ПОВ различных типов

почв, влияние землепользования на его строение, предложены маркеры трансформации ПОВ.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022–0018).

УДК 631.417

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА АГРОЧЕРНОЗЕМОВ И СТРАТОЗЕМОВ МАЛОГО ВОДОСБОРА (КУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Фарходов Ю.Р., Данченко Н.Н., Данилин И.В., Зиганшина А.Р., Буряк А.Д., Стройкова М.Н., Жидкин А.П., Холодов В.А.

ФИЦ Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, yulian.farkhodov@yandex.ru

Одним из возможных способов изучения особенностей почвообразовательного процесса в условиях почвенно-геохимического сопряжения является бассейновый подход, позволяющий изучать особенности функционирования почвенного покрова как в локальном, так и глобальном масштабе. При исследовании почв агроценозов большое внимание уделяют влагообеспеченности, содержанию элементов питания и почвенного органического вещества (ПОВ), в меньшей степени изучено химическое строение и трансформация ПОВ. Целью исследования было оценить особенности строения и трансформации органического вещества агрочерноземов и стратоземов малого водосборного бассейна.

Объекты исследования: агрочерноземы различной степени эродированности и стратоземы, расположенные в пределах водосборного бассейна (Курская область). Почвенные образцы были отобраны на двух распаханых склонах южной и северной экспозиции, где выращивалась озимая пшеница и сахарная свекла соответственно, а также в днище нераспахиваемой балки покрытой луговой растительностью. Содержание и строение ПОВ оценивали методами термokatалитического окисления, аналитического пиролиза и молекулярной спектроскопии. Для оценки влияния биохимических процессов на трансформацию ПОВ определяли активность почвенных ферментов углеродного цикла: полифенолоксидазы и пероксидазы.

По результатам комплексного изучения ПОВ агрочерноземов и стратоземов показано влияние землепользования и эрозионно-аккумулятивных процессов на особенности строения и трансформации ПОВ. Поступление свежих растительных остатков на пашне приводит к высокой полифенолоксидазной активности и накоплению продуктов гумификации растительного происхождения. Недостаточное поступление свежих растительных остатков в пахотных почвах приводит к увеличению пероксидазной активности, формированию структуры ПОВ с преобладанием глубоко переработанного ОВ микробного происхождения, что указывает на высокую интенсивность процесса химической стабилизации ПОВ.

Трансформация ОВ стратоземов днища балки связана с поступлением трудноразалагаемых компонентов ПОВ со склонов, а также накоплением свежобразованных гуминовых веществ растительного и микробного происхождения в результате формирования благоприятных условий для развития живых организмов.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Изучить макроагрегаты, их органическое вещество и микробном как факторы устойчивости почв» (№ 0439-2022-0012).

УДК 631.417

КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ И ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ РАЗНОГО ВИДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ РУТИННЫМИ МЕТОДАМИ

Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Данилин И.Н., Зиганшина А.Р., Данченко Н.Н., Ярославцева Н.В.

ФИЦ Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, vkholod@mail.ru

Современное состояние науки, особенно необходимость работы с большими данными, требует увеличения объема получаемой информации. Для этого применимы рутинные методы, т.е. методически отработанные подходы, позволяющие достаточно быстро получать качественные воспроизводимые данные. Для изучения почвенного органического вещества (ПОВ) к таковым относятся оптические методы, методы ИК-спектрометрии и термические методы с масс-спектрометрией. Более информативные методы сверхвысокого разрешения, такие как количественная спектроскопия ядерного магнитного резонанса и масс-спектрометрия ионного циклотронного резонанса, в приложении к ПОВ являются скорее уникальными подходами, нежели рутинными. Они требуют больших временных или финансовых затрат, а соответствующие методики получения и обработки данных на данный момент находятся в процессе разработки и валидации, что затрудняет получение с их помощью больших блоков данных.

Однако, в силу комплексности строения ПОВ, невозможно ограничиться лишь одним методом его изучения, а разные рутинные методы характеризуют различные аспекты его строения, что приводит к затруднениям в сопоставлении полученных с их помощью данных. Цель работы - выявление особенностей строения ПОВ большой выборки дерново-подзолистых почв и черноземов разного вида использования блоком основных рутинных методов

Для характеристики ПОВ использовали:

- оптические свойства водоекстрагируемого органического вещества (ВЭОВ) по спектрам поглощения и флуоресценции;
 - молекулярный состав пиролизатов термолабильного (ТЛ) и термостабильного (ТС) ПОВ по данным двухстадийного пиролиза с масс-детекцией;
 - строение ПОВ на основе инфракрасной спектрометрии диффузного отражения (DRIFTS).
- В целом показано, что оптические характеристики ВЭОВ дополняют данные по молекулярному строению ТЛ ПОВ. Состав пиролизатов ТС ПОВ помогает уточнить происхождение полисахаридов (растительное или микробное), при этом их содержание легче оценить по ИК-спектрам.

В ходе работ выявлены особенности трансформации ПОВ черноземов и дерново-подзолистых почв в зависимости от вида использования. В частности показано, что ВЭОВ дерново-подзолистых почв менее отзывчиво на вид использования по сравнению с черноземами, а в их ТЛ ПОВ, наоборот — больше выражена зависимость от принадлежности к обрабатываемой или необрабатываемой почве. Вероятно, это связано с промывным режимом в первых почвах и непромывным - во-вторых.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что анализ свойств ВЭОВ и ТЛ/ТС ПОВ оптическими методами в сочетании с масс-спектрометрией позволяет дать исчерпывающую характеристику ПОВ, а результаты, полученные разными аналитическими методами, взаимно дополняют друг друга. Предлагаемый комплекс методов оптимален для оценки состояния ПОВ и динамики его свойств.

УДК: 631.433.3:631.837

ДЫХАНИЕ ПОЧВ И КАРБОНОВОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Цховребов В.С., Новиков А.А., Джандаров А.Н.

Ставропольский агроуниверситет, Ставрополь, tshovrebov@mail.ru

Основными причинами увеличения содержания углерода в атмосфере считаются сжигание топливных ресурсов, вырубка лесов, минерализация органического вещества почвы. С

антропогенной эмиссией CO₂ всё предельно ясно. А вот с вырубкой лесов и почвенной углекислотой возникает много вопросов и необходимо учитывать все исследования и наблюдения, собранные учёными, занимающимися в данной области.

Самой основной причиной поступления CO₂ в атмосферу является сжигание ископаемых видов топлива — угля, нефти и природного газа. В 2008 году в результате сжигания ископаемого топлива в атмосферу было выделено 8,67 млрд. тонн углерода (31,8 млрд тонн CO₂), в то время как в 1990 году годовая эмиссия углерода составляла 6,14 млрд. тонн. Вырубка лесов является второй по значимости причиной. Но основные легкие нашей планеты не леса, а океан. В них диоксида углерода в сто раз больше, чем в атмосфере — $36 \cdot 10^{12}$ тонн в пересчёте на углерод.

По данным международного исследовательского консорциума CIRCASA, сельское хозяйство является одним из главных антропогенных источников эмиссии парниковых газов (ПГ) в атмосферу. Но по данным министерства СХ России мировой АПК образует только 12% парниковых газов, из которых половину занимает, так называемая, внутренняя ферментация. В структуре выбросов ПГ в России АПК занимает только 5%.

Естественные источники углерода находятся в некотором равновесии с биогеохимическими процессами. Часть CO₂ растворяется в морской воде и часть удаляется из воздуха в процессе фотосинтеза. На наш взгляд и углерод антропогенного происхождения также включается в глобальные процессы, гарантирующие равновесное состояние данного элемента.

Установлено, что при увеличении антропогенных выбросов поглощение CO₂ биосферой превосходило его выделение на ≈ 17 млрд тонн в середине 2000-х годов. Скорость его поглощения имеет устойчивую тенденцию к увеличению вместе с ростом атмосферной концентрации

Карбоновое земледелие, по утверждению некоторых учёных, есть способ ведения агробизнеса, в ходе которого происходит улавливание и захват органического углерода из атмосферы растениями с последующим удержанием его в земле. Хочется спросить - в земле или в почве? Это разные вещи. И главное, как его удержать и зачем? Утверждается, что декарбонизация земледелия - это комплекс мероприятий, направленных на снижение количества выбросов парниковых газов из почв, которые образуются в результате минерализации органического вещества. Предполагается закрепление органического вещества в почве. Идея не новая, т.к. многие ученые, занимающиеся гумусом утверждают, что необходимо сохранять органическое вещество почв и предотвращать его минерализацию. Необходимо удалить лишний углерод из атмосферы и сохранить его в почве.

Развитие карбонового земледелия заключается в увеличении уровня почвенного углерода и снижении темпов его потерь в результате дыхания и эрозии почвы. Для этого, в частности, предполагается минимальная или нулевая обработка почвы, высевание покровных агрокультур и агрокультур с мощной корневой системой, мульчирование и т. д. Каким образом эти мероприятия, предлагаемые только на уровне гипотезы, могут иметь успех, если в природе неизбежен баланс прихода и расхода углекислоты из почвы.

Многие считают, что связывание углерода возможно в процессе деятельности живых организмов — растений, водорослей и бактерий. Например, картофель преобразует CO₂ в крахмал, а сахарная свекла перерабатывает углекислый газ в сахара. И что дальше? А крахмал и сахар разве не перейдут в CO₂ в результате их минерализации?

По мнению некоторых ученых добавление в атмосферу 0,03% CO₂ приведет к росту продуктивности у 95 %-растений планеты на 49%. С 1971 по 1990 г., на фоне роста концентрации CO₂ на 9%, отмечалось увеличение содержания биомассы в лесах Европы на 25–30 %.

Существуют мнения некоторых ученых-экологов, что увеличение содержания углекислоты в атмосфере в 2 раза по сравнению с фоновым приведёт к катастрофическим последствиям. Учёные-палеоклиматологи утверждают, что 150—200 млн. лет назад были очень высокие концентрации CO₂ и составляли 0,3%, а 400—600 млн. лет назад 0,6%., т.е. выше

современных показателей в 10 и 20 раз соответственно. На рубеже эоцена и олигоцена количество CO_2 составляло 0,76%. И никаких катастроф не было. Гигантизм растений и животных в эпоху конца карбона и в начале девона связан с высоким содержанием CO_2 . Так чего же мы боимся? Почему стараемся декарбонизировать земледелие? Правильно ли это?

Почвообразование – это процесс взаимодействия между живой и косной материями. Косная материя представлена минералами и горными породами, измельченными в различной степени, а также органической мортмассой. Живая материя представлена корнями растений и микроорганизмами. Именно микроорганизмы являются поварами для растений. Благодаря голофитному способу питания и выделению кислот при метаболизме микробы разрушают минералы и органическое вещество и переводят элементы питания из недоступной в доступную форму. Другого пути получения элементов минерального питания в усвояемой форме для растений нет. Таким образом, уровень плодородия контролируется почвенной микробиотой и зависит от её активности.

Дыхание почвы – это выделение углекислого газа при дыхании почвенных организмов (корней растений, микроорганизмов и фауны). Эта величина показывает общую микробиологическую (биологическую) активность почвы

Дыхание почв приводит к: 1. Появлению вторичных карбонатов на солонцах, что приводит к их рассолонцеванию; 2. Переходу карбонатов кальция в бикарбонат, увеличению его растворимости, внедрению кальция в ППК и оструктуриванию слитых почв. 3.

Трансформации органического вещества; 4. Увеличению содержания элементов питания, перевод из недоступных в доступные формы; 5. Увеличению концентрации CO_2 в приземном слое, без которого не может быть высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Исследования, проведённые кафедрой почвоведения Ставропольским ГАУ показали, что при внесении в почву горных пород, богатых по химическому составу, происходит увеличение интенсивности дыхания чернозёма выщелоченного и возрастает урожайность кукурузы.

В другом опыте, где исследовалось влияние различных способов обработки солонцевато-слитых почв на изучаемые показатели, получили аналогичную картину. Изучали действие вспашки и различных безотвальных рыхлителей солонцов. Наилучшие результаты показал ПЧ-4,5 (плуг чизельный) и РСН 2,2 (рыхлитель солонцов). При обработке почвы агрегатом РСН-2,2 на глубину до 40 см выделение CO_2 почвой в фазу цветения пшеницы достигло $580 \text{ мг/м}^2 \times \text{ч}$, что было на $200 \text{ мг/м}^2 \times \text{ч}$ выше контрольного. При возрастании дыхательной активности увеличивается содержание элементов питания и урожайность озимой пшеницы. Выявленная закономерность была подтверждена и другими исследованиями кафедры на разных сельскохозяйственных культурах в различных условиях опыта.

Таким образом дыхание почв приведёт к увеличению выбросов CO_2 и не способствует декарбонизации земледелия. Как снизить дыхание почв? Можно произвести процесс слитизации почв, уплотнения, обесструктуривания, переувлажнения, подтопления, не вносить органических удобрений и пожнивных остатков, уничтожить почвенную микрофлору. И тогда мы закрепим весь углерод в почве. А это экологично? Но тогда мы будем ходить голодные, холодные, раздетые и разутые. Продуктивность сельскохозяйственных угодий резко упадёт. Здоровая почва должна дышать. Разве не от дыхательной активности зависит активность и здоровье самого человека?

УДК 631.417

БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НАНОБИОТЕХНОЛОГИЙ

Черникова О.В.¹, Мажайский Ю.А.²

¹ Академия ФСИН России, Рязань, e-mail: chernikova_olga@inbox.ru;

² Мещерский филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Рязань, e-mail: director@mntc.pro

Важнейшей составляющей частью почвы является органическое вещество, которое представляет собой сложное сочетание растительных и животных остатков, находящихся на различных стадиях разложения, и специфических почвенных органических веществ. Потенциальным источником органического вещества считают все компоненты биоценоза, которые попадают на или в почву (отмирающие микроорганизмы, мхи, лишайники, животные и т.д.), но основным источником накопления гумуса в почвах служат зеленые растения, которые ежегодно оставляют в почве и на ее поверхности большое количество органического вещества.

Применение органических удобрений в умеренных дозах сдерживает дегумусирование пахотных почв, а в повышенных дозах – способствует стабильному и существенному приросту содержания органического вещества в почве.

Поиск и разработка приемов, которые могли бы повысить плодородие малопродуктивных почв, увеличить урожайность культурных растений без увеличения норм внесения удобрений, а также улучшить качество сельскохозяйственной продукции является приоритетным направлением современного растениеводства. Одно из таких направлений – переход к технологиям, которые способствуют оптимизации питания растений микроэлементами и стимуляторами их роста и развития в соответствии с биологическими требованиями культур, к стратегии комплексного и дифференцированного использования генетических, почвенно-климатических и техногенных факторов.

Цель исследования – изучить влияние компоста, жидкофазного биопрепарата и наночастиц кобальта на баланс органического вещества основных типов почв.

Исследования проводили в лизиметрах конструкции ВНИИГиМ с ненарушенным почвенным профилем, расположенных на почвенном стационаре Опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева», входящего в состав учебно-научного инновационного центра «Агротехнопарк» (Рязанский район, Рязанской области) в четырехкратной повторности на трех типах почв. Площадь стационарных полевых лизиметров составляет 1,13 м².

Во всех вариантах в качестве фона был внесен компост в дозе 20 т/га, включающий в себя 90% навоза крупного рогатого скота и 10% перепревшего птичьего помета. Схема опыта представлена в таблице 1.

На контроле семена замачивали в дистиллированной воде в течение 60 минут, в двух других в 1% жидкофазном биопрепарате и растворе наночастиц кобальта из расчета 0,01 г на гектарную норму высева семян.

В качестве экспериментальной культуры высевали многолетние травы на зеленый корм. Состав травосмеси: овсяница луговая *Festuca pratensis* Huds 50%, райграс пастбищный *Lolium perenne* 40%, мятлик луговой *Poa pratensis* 10%. После установления стабильного уровня грунтовых вод была проведена ранневесенняя вспашка, непосредственно перед посевом в почву был внесен компост, затем обработка почвы, замачивание и посев семян и прикатывание.

При выращивании сельскохозяйственных культур в процессе уборки вместе с урожаем вывозится побочная продукция (стебли растений, ботва), в этом случае в почву поступает опад только в виде растительных (стерня, опавшие сухие листья) и корневых остатков, что значительно уменьшает запасы биомассы, а, следовательно, и общее накопление запасов гумуса, который вместе с основными питательными веществами (NPK) являются основными составляющими плодородия почвы.

Расчет баланса органического вещества (ОВ) основывался на учете потребления азота растениями из почвы при минерализации гумуса и его образования из растительных остатков. Накопление ОВ под культурами рассчитывали исходя из урожайности и поступающих в почву после уборки урожая корневых и пожнивных остатков, соломы и

коэффициента их гумификации. Минерализация ОВ рассчитывалась по величине урожайности культуры и выносу азота 1 тонной основной и побочной продукции

Таблица 1. Схема закладки опыта

№ № вариантов	Варианты опыта	Сокращения в таблицах названий вариантов
1	Контроль (дерново-подзолистая почва)	Контроль (ДПП)
2	Жидкофазный биопрепарат (дерново-подзолистая почва)	ЖФБ (ДПП)
3	Наночастицы кобальта (дерново-подзолистая почва)	НЧСо(ДПП)
4	Контроль (серая лесная почва)	Контроль (СЛП)
5	Жидкофазный биопрепарат (серая лесная почва)	ЖФБ (СЛП)
6	Наночастицы кобальта (серая лесная почва)	НЧСо (СЛП)
7	Контроль (чернозем)	Контроль (Ч)
8	Жидкофазный биопрепарат (чернозем)	ЖФБ (Ч)
9	Наночастицы кобальта (чернозем)	НЧСо(Ч)

Результаты расчета баланса ОВ свидетельствуют, что наибольший положительный баланс органического вещества отмечался под многолетними травами, выращиваемых на черноземе, при совместном применении компоста и предпосевной обработки семян жидкофазным биопрепаратом – 3,07 т/га (ЖФБ (Ч)). Данный показатель больше на 0,72 т/га (23,5%) ОВ при использовании только компоста (Контроль (Ч)), и на 0,28 т/га (9,1%) при обработке семян наночастицами кобальта (НЧСо(Ч)).

Такая же динамика отмечена и на дерново-подзолистой почве: на варианте ЖФБ (ДПП) баланс ОВ составил 3,56 т/га. При этом на контрольном варианте он составил 2,41 т/га, что меньше на 30,6 % (1,09 т/га), а на варианте НЧСо(ДПП) – 2,69 т/га (меньше на 24,4 % (или 0,87 т/га)).

Меньше ОВ образуется под многолетними травами на серой лесной почве при использовании наночастиц кобальта в качестве предпосевного протравливателя семян – 1,76 т/га (вариант НЧСо (СЛП)). Это наименьший показатель баланса органического вещества на всех вариантах опыта, включая и черноземы, и дерново-подзолистые почвы. Наибольший показатель баланса органического вещества был отмечен на варианте с применением жидкофазного биопрепарата (ЖФБ (СЛП)) – 2,52 т/га, что больше варианта НЧСо (СЛП) на 0,76 т/га (43,2%). На варианте Контроль(СЛП) данный показатель составил 2,4 т/га. Однако следует отметить, что на варианте НЧСо (СЛП) за три года исследований был сформирован наибольший средний урожай среди вариантов Контроль(СЛП) и ЖФБ(СЛП).

Таким образом, основными факторами, влияющими на баланс органического вещества почв, в проведенных исследованиях, являются:

- урожайность сельскохозяйственных культур;
- применение предпосевной обработки семян.

Причем первостепенное влияние оказывает урожайность сельскохозяйственных культур в течение всей ротации севооборота.

Предпосевная обработка семян жидкофазным биопрепаратом совместно с компостом оказывает наиболее положительный эффект и дает наибольшее увеличение органического вещества в почвах.

(D) ПОДКОМИССИЯ. ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Е.В. Абакумов

Санкт-Петербургский государственный университет, каф. Прикладной экологии, 1991787, Санкт-Петербург, 16-я линия В.О., д. 29, e abakumov@mail.ru

Северо-Запад России, включающий Ленинградскую, Новгородскую и Псковскую области, а также Санкт-Петербург, характеризуется чрезвычайно разнообразными геогенными условиями, что определяет специфику почвенного покрова. Разнообразие почвообразующих пород региона увеличивается за счет техногенных отложений, формирующихся в ходе добычи полезных ископаемых. В связи с этим на поверхности оказываются породы дочетвертичного происхождения, совершенно не типичные для голоценовых ландшафтов. Восстановление почв проходит, преимущественно по траектории самозарастания, рекультивация, там, где она проводится, является, в основном лесохозяйственной. Проведено исследование хроносерий педогенеза в различных субстратно-фитоценологических комбинациях и изучение экогенетических сукцессий на отвалах самых разнообразных карьерно-отвальных комплексов. Наибольшая интенсивность инициального почвообразования характерна для отвалов, сложенных породами легкого гранулометрического состава, здесь достаточно быстро формируется эмбриозем подзола. В случае нетоксичных пород легкого гранулометрического состава и положительных форм рельефа наиболее успешной стратегией восстановления почв является природная экогенетическая сукцессия. Наиболее долго дифференцируются профили почв на кембрийских глинах, известняках и массивно-кристаллических породах. В этом случае для рекультивации необходимо нанесение вскрышных пород легкого гранулометрического состава с целью оптимизации физических параметров корнеобитаемого слоя. Отдельной проблемой рекультивации земель в регионе является постепенное естественно затопление карьерно-отвальных комплексов после прекращения функционирования добывающих комплексов, откачивавших или отводивших воды. Так, огромные площади рекультивированных земель карьеров по добыче фосфорита оказались заболоченными и в настоящее время происходит деградация рекультивированных лесных экосистем. Еще одной экологической проблемой является пылевое загрязнение ландшафтов в районах проведения взрывотехнических работ на севере Карельского перешейка. Здесь пылевое загрязнение распространяется в пределах двадцатикилометрового радиуса. Кроме того, глубокие карьеры изменяют гидрологический режим сельговых ландшафтов, приводя к их иссушению. Таким образом, трансформация экосистем происходит не только в местах непосредственной добычи полезных ископаемых, но и на обширных прилегающих площадях. В связи с этим стратегия рекультивации земель должна включать как реставрацию непосредственных нарушений почвенно-растительного покрова, но и мероприятия по смягчению сопутствующих последствий добычи полезных ископаемых в смежных ландшафтах. Работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 23-16-20003

УДК 631.45

ДИАГНОСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ИХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Бакина Л.Г., Поляк Ю.М., Чугунова М.В., Герасимов А.О., Маячкина Н.В.

ФГБУН Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, bakinalg@mail.ru

Деградационные изменения, происходящие в почвах в результате антропогенного нарушения, в первую очередь загрязнения, являются одной из наиболее серьезных

экологических проблем нашего времени. Деградация почв приводит к существенному изменению почвенных свойств, вызывает потерю устойчивости почвенной системы и невозможность выполнения почвой своих экосистемных и биосферных функций. В связи с этим все большее количество земель разного назначения нуждаются в экологической реновации – коренном обновлении при помощи технико-экономических, мелиоративных или рекультивационных мероприятий, которые должны существенным образом улучшить экологическое состояние почв и обеспечить их нормально функционирование, качество и здоровье.

Известно, что оценка качества и здоровья почвы производится не только с целью определения пригодности почвы к использованию, но и для выявления скрытых функциональных нарушений, позволяющих заблаговременно предотвращать необратимые изменения, ведущие к деградации почвы, для выбора комплекса мер по ее эффективному и рациональному использованию, а в необходимых случаях – ее ремедиации. При этом проблема разносторонней диагностики качества почвы продолжает оставаться приоритетной и не решенной. Актуальность проблемы определяется возрастающим уровнем антропогенной нагрузки на почвенные экосистемы, необходимостью качественной и количественной оценки взаимосвязей между компонентами биогеоценозов антропогенно-нарушенных почв, а также необходимостью определения критических значений стрессовых факторов, которые могут привести к необратимым нарушениям фундаментальных биологических процессов в естественных и агроэкосистемах.

Несмотря на наличие определенного прогресса в поисках индикаторов качества и здоровья почвы, этот вопрос далек от разрешения. В настоящее время достаточно сложно оценить состояние нарушенных земель, их способность к самовосстановлению и прогнозировать эффективность применения тех или иных рекультивационных мероприятий в связи с недостаточной информативностью используемых параметров. Изучение структурных и функциональных изменений компонентов почвенных экосистем, находящихся в условиях стрессового воздействия, позволит создать новую систему комплексной оценки качества почв на основе агрохимических и биологических показателей.

Для антропогенно загрязненных территорий особое значение имеет биодиагностика состояния почв, обычно осуществляемая методами биоиндикации и биотестирования. Именно биотические показатели могут дать информацию о биологических последствиях антропогенного изменения среды, в то время как химические методы анализа позволяют охарактеризовать загрязнение количественно и лишь косвенно позволяют оценить реальную опасность для живых компонентов биогеоценозов.

Целью настоящих исследований являлась комплексная биодиагностика состояния почв Санкт-Петербурга и Ленинградской области, загрязненных нефтью и тяжелыми металлами в условиях длительных (8-20 лет) полевых опытов. Для изучения экологического состояния почвы и выявления наиболее информативных показателей, которые можно было бы использовать при диагностике качества и здоровья почвы, исследования проводили по нескольким направлениям:

- изучение интегральных показателей функционального состояния почвенной микробиоты - почвенного дыхания и средорегулирующей активности;
- исследование ферментативной активности почв (с использованием окислительно-восстановительных ферментов дегидрогеназы и каталазы, а также фермента азотного цикла уреазы);
- оценка степени токсичности загрязненной почвы по разработанной тест-системе (два тест-объекта – гидробионта, а именно зеленые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. и ветвистоусые рачки дафнии *Daphnia magna* Straus, а также семена высших растений);
- выделение из загрязненных почв комплекса почвенных микромицетов с последующей идентификацией и характеристикой по частоте встречаемости и обилию видов;

- впервые для диагностики загрязненных почв был использован новый микробиологический показатель - аллелопатическая активность почвенных микромицетов. Проведенные исследования позволили предложить систему наиболее информативных показателей, которые позволяют оценить экологическое состояние (качество и здоровье) антропогенно загрязненных почв, а также оценивать эффективность мероприятий по рекультивации загрязненных земель.

УДК 631.41

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ БИОЧАРА И ШТАММОВ-ДЕСТРУКТОРОВ ПАУ С ЦЕЛЬЮ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИАРЕНОВ В ПОЧВЕ

Барбашев А.И., Дудникова Т.С., Шуваев Е.Г., Немцева А.А., Горовцов А.В., Сушкова С.Н.
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, barbashev_andrei@mail.ru

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются одними из самых опасных загрязнителей окружающей среды. Среди ПАУ выделяют 16 наиболее опасных загрязнителей, в том числе бенз(а)пирен (БаП), который проявляет мутагенное и тератогенные свойства по отношению к живым организмом. Проблемой является не только контроль поступления органических поллютантов в окружающую среду, но и восстановление загрязненных территорий, для которых необходимо подобрать оптимальные подходы и методы ремедиации.

Целью работы являлось изучение эффективности совместного применения биочара и штаммов-деструкторов ПАУ с целью разложения полиаренов в почве.

Для изучения эффективности совместного применения биочара и штаммов-деструкторов ПАУ на разложение полиаренов в почве, заложен модельный вегетационный опыт. Почва для опыта, представляет собой хемозем отобрана с территории бывшего оз. Атаманского, Ростовской области, служившего долгие годы в качестве резервуара для промстоков предприятия химической промышленности. Схема опыта включала: 1. Контроль; 2. Хемозем; 3. Хемозем + 5% биочара; 4. Хемозем + бактерии; 5. Хемозем + 5% биочара+ бактерии. Почва контрольного варианта представлена лугово-черноземной почвой, находящейся на удалении 1,5 км от оз. Атаманского. Бактерии штаммы-деструкторы ПАУ представлены консорциумом микроорганизмов *Rhodococcus erythropolis* и *Pseudomonas putida* в дозе 10^{*10} КОЕ/кг. Экстракцию ПАУ проводили гексаном, количественное определение поллютантов в экстрактах выполнено методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием Agilent 1260. Статистический анализ полученных результатов, а также их визуализация выполнена с использованием программ: Statistica 7, Microsoft Excel 16. Достоверность различий между средними в различных вариантах опыта установлена с использованием критерия Стьюдента при р-уровне < 0,05.

Установлено, что в почве контрольного варианта (лугово-черноземная почва) и хемоземе суммарное содержание 16 полиаренов составляло 323 и 6404 нг/г, БаП – 17 и 745 нг/г, соответственно. Групповой состав ПАУ лугово-черноземной почвы представлен преимущественно 3-х и 4-х кольчатыми соединениями. В хемоземе в составе ПАУ преобладали наиболее опасные высокомолекулярные полиарены: количество 2-х кольчатых составило: 137 нг/г, 3-х кольчатых – 758 нг/г, 4-х кольчатых – 2369 нг/г, 5-ти кольчатых – 2584 нг/г и 6-ти кольчатых 557 нг/г, что в 8,1; 7,9; 20,3; 44,6 и 15,9 раз выше, соответственно, чем в почве контрольного варианта (рис. 1). При внесении биочара наблюдалось снижение суммарного содержания ПАУ в хемоземе до 1730 нг/г. Совместное применение биочара и штаммов-деструкторов ПАУ в 1.6 раз эффективнее влияло на снижение ПАУ в почве, чем внесение одного биочара. Однако наилучший эффект достигнут при совместном применении бактерий и биочара на хемоземе, где суммарное содержание 16 ПАУ и БаП снизилось в 5,8-6,0 раз по сравнению с почвой без внесения ремедиантов. При этом, уменьшение содержания

ПАУ происходило преимущественно за счет 4-х и 5-ти кольчатых ПАУ, содержание которых снизилось в 5,6 – 6,4 раз. (рис. 1).

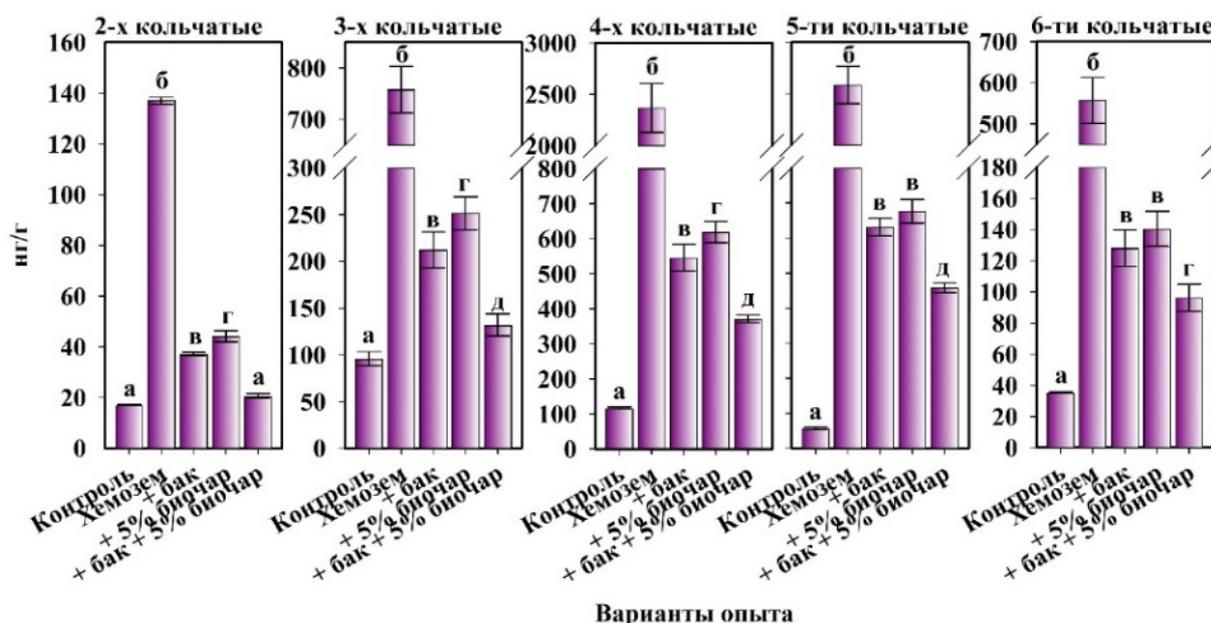


Рисунок 1. Содержание ПАУ различной кольчатости в хемоземе при внесении бактерий отдельно и совместно с биоcharом

Примечание: бак – бактерии; буквами отмечены достоверные различия ($p < 0,05$), полученные в результате расчета критерия Стьюдента

Таким образом, доказана эффективность удаления полиаренов при внесении биоcharа и штаммов-деструкторов ПАУ в хемоземе. Показано, что снижение содержания полиаренов в почве и ячменя зависело от типа ремедиации и образует следующую последовательность: «хемозем + бактерии + биоchar» > «хемозем + бактерии» > «хемозем + биоchar» > «хемозем» > «контроль».

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122, а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

УДК 631.4

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ФОРМЫ ИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧВАХ АГРОЛАНДШАФТОВ И ЛЕСОПАРКОВЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ

Борисочкина Т.И., Колчанова К.А., Никитина Н.С.

ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Москва, geotibor@gmail.com

Москва является крупнейшим макроэкономическим регионом страны. Ландшафты города претерпевают различные антропогенные воздействия, характер которых зависит от огромного количества факторов. Результатом антропогенного воздействия на почвы являются как общие закономерные процессы, заключающиеся в изменении геохимического фона городских экосистем и механизмов их функционирования, так и индивидуальные особенности, учет и анализ которых необходим при проведении природоохранных мероприятий.

В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и поступления тяжелых металлов в почвы города возникает необходимость изучения геохимии этих элементов, а также форм нахождения металлов в почве, поскольку формы соединений металлов характеризуют экологическое состояние ландшафтов и во многом определяют риски поступления тяжелых металлов в сопряженные среды.

Ключевые участки закладывались на территории Лианозовского лесопарка Северо-Восточного округа Москвы, Тимирязевского парка, Мичуринского сада ТСХА, на территории Новой Москвы (в Подольском районе). При исследовании форм соединений тяжелых металлов использовались селективные вытяжки (ААБ, 1н HNO_3), проводилось последовательное фракционирование по Тессьеру, изучалось распределение тяжелых металлов по гранулометрическим фракциям различной дисперсности (после выделения фракций по методу Н.И. Горбунова). Определение тяжелых металлов велось на атомно-адсорбционном анализаторе Agilent AA240.

Исследование распределения и форм соединений тяжелых металлов в почвах лесопарковых ландшафтов Лианозово показало, что в нативных дерново-подзолистых почвах лесопарковых ландшафтов содержание тяжелых металлов не превышает региональные фоновые концентрации. Концентрации металлов в почвах увеличиваются в местах близлежащего расположения и усиления воздействия крупных трасс. В почвах подчиненных ландшафтов происходит увеличение содержания подвижного цинка (извлекаемого ацетатно-аммонийной вытяжкой), временами достигающее 25 – 27 мг/кг, что превышает ПДК, а также увеличение содержания валового (1,2-1,4 мг/кг) и подвижного кадмия. Пост-агрогенные почвы лесопарка характеризуются повышенными содержаниями подвижного цинка и фосфора. Наиболее экологически опасными являются локальные пирогенные образования, находящиеся на территории парка, характеризующиеся высокими концентрациями тяжелых металлов, превышающими ПДК. Разрушение органогенных горизонтов повлекло за собой трансформацию форм соединений тяжелых металлов, привело к уменьшению доли прочно связанных соединений, увеличило риски аэрогенной и латеральной миграции. Наибольшую опасность представляет кадмий, доля обменной (наиболее лабильной) фракции которого в загрязненных почвах возрастает и составляет 20-30%.

Кроме характерного для мегаполисов аэрогенного поступления в почвы тяжелых металлов, источником загрязнения почв урбанизированных агроландшафтов может стать агротехногенное воздействие. В почвах Мичуринского сада (плодовой опытной станции ТСХА) из-за применения медь-содержащих препаратов в почве участков, возделываемых с 1939 года, по сравнению участками, возделываемыми с 1976 года (когда к саду была присоединена дополнительная территория), валовое содержание меди в почве увеличилось в полтора-два раза (но не превысило действующие нормативные показатели). Увеличение содержания в почвах меди в дальнейшем повлекло за собой трансформацию соединений металла и перераспределение его по фракциям. В почвах, возделываемых с 1939 года, наиболее значительное увеличение соединений меди зафиксировано во фракциях, связанных с аморфными соединениями железа и с органическим веществом. Анализ распределения металла по гранулометрическим фракциям почв исследуемых участков показал значительное увеличение концентрации элемента в илистой фракции (с 71 до 162 мг/кг) и во фракции мелкой и средней пыли (с 40 до 69 мг/кг). При этом порядка 70% от валового содержания элемента (как на участках, возделываемых с 1939, так и на участках, используемых для выращивания плодовых деревьев с 1974 года) приходится на пылеватую фракцию.

Дерново-подзолистые почвы центральной части Тимирязевского парка характеризуются фоновыми содержаниями тяжелых металлов. В почвах подчиненных полугидроморфных ландшафтов Тимирязевского парка зафиксированы (по сравнению с почвами автономных ландшафтов) повышенные содержания подвижных форм цинка, кадмия, меди, временами превышающие ПДК. Содержание цинка в дерново-глеевых почвах в 1,8-2,1 раза превышает содержание элемента в дерново-подзолистых почвах автономного ландшафта. Содержание

элемента в илистой фракции верхнего горизонта дерново-глеевой почвы в 1,6 раза выше содержания цинка в илистой фракции почвы автономного ландшафта и в 2,6 раза выше его содержания во фракции мелкой и средней пыли. Кадмий в дерново-подзолистых почвах автономных ландшафтов Тимирязевского парка находится преимущественно в обменной форме, что объясняет его высокую миграционную активность. В дерново-глеевых почвах аккумулятивных ландшафтов зафиксировано увеличение содержания обменного кадмия, а также рост специфически сорбированных соединений элемента. Нарушение естественных водотоков в почвах мегаполиса влечет за собой процессы вторичного гидроморфизма, которые сопровождаются изменением окислительно-восстановительных условий и трансформацией соединений тяжелых металлов.

Произошедшее летом 2012 года присоединение к Москве дополнительных территорий, получивших название Новой Москвы, привело к увеличению площади города с 1070 до 2550 км². В черту Москвы вошли значительные площади лесных массивов. В Москве произошли серьезные изменения в структуре использования городской территории, для которой стало характерно наличие жилой одноэтажной частной застройки с приусадебными участками, садами, огородами. В ходе анализа почв приусадебных участков в ряде случаев были зафиксированы повышенные концентрации (временами превышающие ПДК) подвижного цинка и подвижного фосфора.

Почвы (преимущественно центральной части лесных массивов Новой Москвы) сохраняют свои природные свойства (кислая реакция, низкое содержание обменных оснований) имеют фоновые содержания тяжелых металлов. Зафиксировано превышение региональных фоновых значений содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв, обусловленное аэрогенными выбросами предприятий и воздействием близлежащих трасс (особенно на окраинных частях лесных массивов). В почвах лесных массивов около пролегающих крупных автомобильных трасс отмечено повышенное содержание подвижного свинца, достигающее 4,5-6,1 мг/кг.

Анализ содержаний и форм соединений тяжелых металлов в почвах урбанизированных сельскохозяйственных, лесных и лесопарковых ландшафтов Москвы расширит информацию о динамике процессов, протекающих в почвах города в ходе антропогенных воздействий, внесет вклад в усовершенствование теоретических основ анализа, оценки состояния и использования почвенных ресурсов, в развитие методологии почвенно-агроэкологического мониторинга.

УДК 631.41

ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОЙ СОСТАВ СВИНЦА И КАДМИЯ В ПОЧВАХ С РАЗНОЙ БУФЕРНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Бурачевская М.В., Минкина Т.М., Щербаков А.П., Лацынник Е.С.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: marina.0911@mail.ru

Проблемы загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) окружающей среды признаны и выявлены во многих странах мира. Именно почва становится одним из главных объектов функционирования биосферы. ТМ могут приводить к длительным токсическим эффектам и при попадании в почву и мигрировать между отдельными компонентами экосистемы. Элементами первого класса опасности, которые подлежат первоочередному контролю, являются Pb и Cd. Таким образом, встает вопрос об оценке защитных возможностей почвы по отношению к ТМ, т. е. ее буферных свойств. Буферность почв является комплексным показателем, который учитывает влияние важнейших компонентов и свойств почв на поведение и функции ТМ в почвах. Для изучения трансформации металлов в почвах в мировой практике применяются химические методы последовательных селективных экстракций. Сложность их применения заключается в отсутствии возможности показать все разнообразие существующих взаимодействий между почвенными компонентами и

металлами. Учесть данный факт позволяет авторская комбинированная схема фракционирования соединений ТМ. На основе фракционно-группового состава соединений ТМ возможно определить способность как в почвы в целом, так и отдельных ее компонентов удерживать загрязняющие вещества. Соединения ТМ в почвах разделяется на 2 группы: непрочно и прочно связанные.

Для изучения влияния свойств почвы на проявление ее буферной способности по отношению к Pb и Cd и фракционно-групповой состав ТМ был заложен модельный опыт. Для закладки модельного опыта отбирался 0-20 см слой чернозема южного (Haplic Chernozem по WRB) среднемощного тяжелосуглинистого целинного участка, находящегося вдали от возможных источников загрязнения. Отбор почвы проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Общие физические и химические характеристики отобранной почвы проанализированы стандартными методами. На основе исследуемого чернозема южного тяжелосуглинистого были смоделированы почвенно-песчаные субстраты с различным гранулометрическим составом: среднесуглинистым (25% песка), легкосуглинистым (50% песка) и супесчаным (75% песка). В исходной почве и приготовленных на ее основе почвенно-песчаных субстратах рассчитана буферность по отношению к ТМ по методике Ильина. Согласно методике буферность почвы рассчитывается как сумма показателей: $pH_{\text{водн}}$ + содержание гумуса, % + содержание карбонатов, % + содержание подвижных полуторных оксидов Fe+Al, % + содержание частиц < 0.01мм, %. Варианты опыта отражали почвы с различной буферной способностью: от высокой (в черноземе) до повышенной (25% песка), средней (50% песка) и низкой (75% песка).

В сосуды с дренажем помещали по 2 кг подготовленной почвы, просеянной через сито, с диаметром ячеек 2 мм. В варианты опыта отдельно вносили водные растворы нитратов Pb, Cd в дозах 2 и 10 ОДК (СанПиН 1.2.3685-21). Инкубация проходила при температуре +20-22°C и естественном освещении в течение 6 месяцев при влажности 60 % от полной влагоемкости. Валовое содержание ТМ в почве определяли рентген-флуоресцентным методом с использованием спектроскана «МАКС-GV».

Фракционно-групповой состав соединений ТМ в почвах модельного опыта был изучен комбинированным методом фракционирования, который основан на сочетании параллельных и последовательных экстракций и расчетного метода. Содержание Pb и Cd в вытяжках определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Изменение буферной способности почв отразилось на результатах фракционно-группового состава ТМ. По результатам комбинированной схемы фракционирования установлено, что основная часть Pb и Cd (79-91% от суммы фракций) в незагрязненном черноземе находится в прочно связанном состоянии, на долю группы непрочно связанных соединений приходится 9-21%. В незагрязненном черноземе южном супесчаном и легкосуглинистом с меньшей буферной способностью установлено высокое содержание непрочно связанных соединений Cd и Pb (до 25-31%).

В незагрязненной почве (контроль) наблюдается следующее фракционное распределение соединений Pb: прочно связанные с силикатами > прочно связанные с органическим веществом > прочно связанные с оксидами Fe-Mn > комплексные > специфически сорбированные на карбонатах \geq специфически сорбированные на оксидах Fe-Mn > обменные. Последовательность в распределении форм Cd на черноземе южном тяжелосуглинистом (контроль) иная: соединения прочно связанные с силикатами > прочно связанные с оксидами Fe-Mn > прочно связанные с органическим веществом > специфически сорбированные с оксидами Fe-Mn > специфически сорбированные с карбонатами > обменные > комплексные.

При загрязнении чернозема южного меняется взаимодействие ТМ с почвенными компонентами, что находит отражение в их фракционном составе. Ряд фракционного распределения Pb в черноземе южном при низком уровне загрязнения повторяет ряд на незагрязненной почве. При высокой дозе внесения металла увеличивается доля непрочно

связанных соединений металла в почве. При этом значительную роль играет органическое вещество почвы как в прочном (до 22%), так и непрочном (комплексные соединения) закреплении ТМ (до 19%).

При снижении буферной способности почвы путем постепенного разбавления загрязненной почвы песком наблюдаются изменения во фракционном распределении Pb. Большую роль начинают играть непрочные связанные соединения (21-61%), главным образом, обменные и комплексные соединения Pb (6-40%). При внесении 2 ОДК металла фракционное распределение Pb менялось в основном за счет повышения обменных и комплексных соединений при разбавлении песком на 50 и 75%. Наибольшие изменения фракционного состава Pb наблюдаются при внесении 10 ОДК металла в почвенно-песчаный субстрат. С облегчением грансостава также увеличивается доля самых подвижных обменных и комплексных соединений.

В загрязненном Cd черноземе обыкновенном тяжелосуглинистом изменения во фракционном составе металла приводят к изменению соотношения слагающих его соединений. Отличительной особенностью Cd является значительное увеличение доли непрочных связанных соединений (до 58% от суммы фракций), в большей степени за счет обменных и специфически сорбированных форм Fe-Mn оксидами Cd (с 5% до 18% и с 7% до 23% от суммы фракций, соответственно). Это приводит к изменению последовательности распределения металла по формам соединений. На вариантах с дозой внесения Cd, равной 10 ОДК, отмечается резкое увеличение специфически сорбированных и обменных соединений. На почвах с низкой буферностью рассмотренные изменения во фракционном составе Cd выражены в большей степени. Уменьшение буферной способности почвы приводит к увеличению подвижности металла, также как и в случае Pb, за счет меньшей прочности связи с основными почвенными компонентами. На почве с низкой буферностью с загрязнением 10 ОДК металла во фракционном распределении Cd преобладающую роль играют обменные и комплексные соединения, что приводит к высокой мобильности Cd. Увеличение обменной фракции металла составляет до 48% от суммы фракций.

Показано, что при снижении буферной способности почв и повышении уровня техногенной нагрузки меняется механизм взаимодействия металла с почвенными компонентами. Главной особенностью фракционного состава соединений Cd при загрязнении почвы является высокая подвижность (до 58% непрочных связанных соединений), при этом активнее всего принимают участие оксиды Fe-Mn. При загрязнении почвы Pb также наблюдается увеличение группы непрочных связанных соединений (до 39%), представленной в основном комплексными соединениями с органическим веществом почвы.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ, проект № 23-24-00646.

УДК 631.4

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И ПОЧВОГРУНТАХ

Г. ВОРОНЕЖА

Горбунова Н.С.

ФГБОУ ВО ВГУ, Воронеж, e-mail: vilian@list.ru

Многие Российские и зарубежные исследователи считают процесс урбанизации – ведущей тенденцией современного землепользования. Города в современном мире представляют собой мощные техногенные источники загрязняющих веществ, которые в дальнейшем включаются в миграционные циклы. Исследование состояния городской среды с точки зрения экологического мониторинга не относится к фиксации выбросов и стоков. Основное – понять, какова дальнейшая судьба загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов (ТМ), где они могут аккумулироваться, а где продолжают мигрировать. В законе РФ «О городских почвах» прописан ряд нормативных и методических документов, касаемых

нормирования экологического состояния. Современное природоохранное законодательство не в полной мере дифференцирует научно-обоснованную систему качества городских почв, что приводит к затруднению экологической оценки, а также их рекультивации.

По данным многочисленных исследований под воздействием автотранспорта в почвах накапливаются Ni, Pb, Cd. Кроме того, наиболее опасными с точки зрения загрязнения являются почвы промышленных предприятий.

Поэтому целью данной работы является исследование почв и почвогрунтов города Воронежа, подверженных антропогенным изменениям и нагрузкам – действие автотранспорта и промышленных предприятий на валовое содержание ТМ – Ni, Pb, Cd, их обменных соединений. В условиях городской среды главными техногенными источниками тяжелых металлов являются промышленные предприятия, расположенные в пределах города, а также автотранспорт. Согласно данным Министерства природных ресурсов и экологии правительства Воронежской области местами наибольшей техногенной нагрузки на территории города Воронежа являются: юго-восточная его часть, районы предприятия ТЭЦ-1 (ул. Лебедева, д. 2) и район интенсивного движения автотранспорта (ул. 9 Января, д. 49). Данные территории послужили объектами наших исследований, в качестве фонового участка был выбран участок, расположенный вдали от антропогенных источников загрязнения – промышленных предприятий и автотранспорта, в пределах города. Таким участком явились почвы ботанического сада ВГУ. На выбранных территориях закладывались почвенные разрезы, из которых послойно отбирались почвенные пробы и образцы почвогрунта. В лабораторных условиях определялись рН водной суспензии, валовое содержание гумуса по общепринятым методикам. Валовое содержание ТМ – Ni, Pb, Cd методом спекания почвы с карбонатом натрия, дальнейшей обработкой HNO_3 (1:1) и H_2O_2 (конц.) с атомно-абсорбционным окончанием. Обменные соединения ТМ – в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера. Растительные организмы в течение вегетационного периода накапливают ТМ, при этом максимум концентрации которых содержится в опаде. Поэтому, в приведенных объектах исследования были отобраны образцы опада культур древесных растений. Опад в лабораторных условиях подвергался сухому озолению. Все конечные определения ТМ проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре КВАНТ. Z-ЭТА. Результаты полевых и лабораторных исследований математически и статистически обработаны с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Объекты теплоэнергетики наиболее сильно оказывают трансформационное воздействие на состояние почвогрунтов города. Отмечается дополнительное поступление карбонатной пыли. Согласно полученным данным, отмечается подщелачивание рН почвогрунтов в районе ТЭЦ, а также в зоне влияния автотранспорта. Образуется дополнительный карбонатный геохимический барьер на пути миграции ТМ. Количество органического вещества в почвогрунтах города Воронежа выше, чем в фоновых черноземах выщелоченных.

Полученные данные по валовому содержанию гумуса характеризуются высоким его процентным содержанием из-за антропогенного влияния.

Валовое содержание ТМ и их обменные соединения в черноземах выщелоченных ботанического сада ВГУ располагаются в следующем убывающем ряду: $\text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cd}$ и составляют $30,2/0,51 > 22,3/1,11 > 0,23/0,08$ соответственно. Для профильного распределения изучаемых ТМ характерно накопление их в органогенном горизонте. Известно, что металлы способны образовывать прочные органоминеральные соединения и хелатные комплексы.

Далее вниз по профилю, вслед за уменьшением количества органического вещества, происходит уменьшение валового содержания ТМ. В нижней части профиля вновь отмечается увеличение валового содержания ТМ, особенно Ni и Pb. Частично это связано с влиянием почвообразующей породы, которая имеет щелочную реакцию среды. В таких условиях многие ТМ, в том числе Ni, Pb, Cd, становятся менее подвижными. Кроме того, исследуемые элементы очень прочно сорбируются илистой фракцией черноземов выщелоченных и удерживаются в малодоступном состоянии. Следует отметить, что

почвообразующие породы региона обогащены редкими и рассеянными элементами. Подвижность никеля уменьшается с 1,68 % в верхних гумусовых горизонтах до 0,72 % в породе. Для свинца также характерна низкая степень подвижности – 4,98%, которая уменьшается с глубиной до 2,51 %. Что касается Cd, то это металл, обладающий наибольшей степенью подвижности, которая составляет 34,8 %. Карбонаты и щелочная реакция почвенного раствора стабилизируют металл, сокращая его подвижность до 15,8 %. Но, несмотря на это, Cd относится к весьма подвижным металлам, поэтому есть опасность его интенсивной миграции как латеральной, так и радиальной.

Предприятие ТЭЦ-1 города Воронежа является источником многих загрязняющих веществ. В зоне его влияния зафиксировано повышенное валовое содержание Ni, Pb, Cd в почвогрунте, пыли и образцах растительного опада. Урбостратоземы техногенные карбонат-содержащие расположенные в зоне действия ТЭЦ-1 и автотранспорта испытывают высокую техногенную нагрузку, поэтому валовое содержание ТМ и их обменные соединения превышают ПДК во всех отобранных образцах. Наибольшее валовое содержание Ni характерно для верхнего 0-10 см слоя урбостратоземов расположенных в зоне действия ТЭЦ-1. Поскольку котлы ТЭЦ-1 действуют на мазуте, то Ni является основным составляющим выбросов в окружающую среду. Примеси Pb и Cd также являются составляющими процесса функционирования данного предприятия, поэтому отмечается довольно высокое их содержание в почвогрунте. Максимальное валовое содержание свинца отмечается в урбостратоземах расположенных в зоне влияния автотранспорта и достигает 50,1 мг/кг, что превышает ПДК. Автотранспорт является основным поставщиком металла в окружающую среду, наряду с Ni и Cd. Максимальное количество валового содержания Cd также отмечается в урбостратоземах испытывающих интенсивное влияние автотранспорта. Профильное распределение валового содержания всех исследуемых элементов и их обменных соединений равномерное. В результате интенсивного влияния техногенеза происходит не только увеличение валового содержания и обменных соединений ТМ, выбросы промышленных предприятий и автотранспорта влияют на подвижность исследуемых элементов. Так в результате техногенеза происходит увеличение процента подвижности Ni и Pb до 10%, что касается Cd, то процент подвижности практически не меняется и составляет 26,7%.

Содержание Ni, Pb и Cd в золе опада отобранного в районе влияния автотранспорта и ТЭЦ-1 превышает значение ПДК, что свидетельствует о загрязнении окружающей среды техногенными выбросами. Опад древесной растительности ботанического сада содержит металлы в пределах ПДК. Таким образом, в условиях городской среды города Воронежа происходит аккумуляция ТМ в верхнем слое почвогрунтов, тем самым верхний слой выступает геохимическим барьером на пути миграции Ni, Pb, Cd. Отмечается повышенное содержание исследуемых элементов в растительном опаде. Известно, что растения накапливают вредные ингредиенты главным образом в листве, которая ежегодно опадает и вновь вовлекается в миграционные циклы биологического круговорота.

УДК 631.4

ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Давлетзянов И.И.¹, Павликова П.В.¹, Ладонин Д.В.^{1,2}

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: ladonin@inbox.ru,

²Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва

Техногенное загрязнение окружающей среды в районах добычи и переработки руд цветных металлов уже многие десятилетия продолжает оставаться серьезной экологической проблемой. Среди веществ, загрязняющих почву, воды и растительность, на первом месте

находятся тяжелые металлы (ТМ), представленные в основном гидролитически кислыми соединениями высокой степени подвижности в окружающей среде.

Основная проблема при изучении почв территорий, загрязненных газо-пылевыми выбросами промышленных предприятий, заключается в слабой нормативной базе, уходящей корнями в 70-е года XX века, когда в СССР разрабатывались первые предельно-допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в почвах. Из-за возобладавшего тогда санитарно-гигиенического подхода к нормированию содержания ТМ в почвах, были получены сначала ПДК, а затем ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) для валового содержания ТМ в почвах, не отражающие ни взаимодействия почвы с соединениями металлов, ни свойств почв, влияющих на это взаимодействие. Только часть ТМ, находящихся в почве, является активной в отношении живых организмов, и нахождение этой часть представляется весьма сложной задачей, не решенной полностью до сегодняшнего дня. Появившиеся позднее ПДК подвижных форм ТМ решили эту проблему только частично, так как для них отсутствуют общепринятые научно-обоснованные представления о том, как можно извлечь из почвы именно подвижные и доступные для живых организмов формы соединений ТМ. Вместе с тем, решение вполне может быть найдено путем нормирования в почвах водорастворимых соединений ТМ, подвижность и биологическая доступность которых в почвах не вызывает сомнений. Использование современных высокочувствительных методов анализа, таких, как масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), позволяет надежно определять содержание в почве водорастворимых форм соединений большинства ТМ, что не было возможно или вызывало определенные трудности тогда, когда разрабатывалась концепция ПДК ТМ в почвах.

Вместе с тем, в силу устоявшихся привычек и традиций, изучение содержания в техногенно-загрязненных почвах не только водорастворимых, но и подвижных (извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8), производится далеко не всегда.

Целью данной работы является сравнение уровней загрязнения почв Норильского промышленного района по результатам определения валового содержания, содержания подвижных форм, извлекаемых ААБ с рН 4,8 и водорастворимых форм ТМ в рамках первого этапа работ по разработке региональных нормативов качества почв.

Объектами исследования являются почвы шести типов, отобранные на различном расстоянии от источников загрязнения: подбуры, криоземы оглеенные, глееземы, аллювиально-дерновые почвы, торфянисто-глеевые почвы и литоземы торфянистые. Для всех почв характерно обогащение верхних горизонтов органическим веществом и оглеение нижних горизонтов, связанное с наличием многолетней мерзлоты. Пробы почв отбирали по генетическим горизонтам, всего было отобрано 100 проб почв из 24-х разрезов.

В отобранных пробах почв определяли валовое содержание 28-и ТМ после микроволнового кислотного разложения царской водкой, содержание подвижных (извлекаемых ААБ с рН 4,8) и водорастворимых ТМ. Все измерения концентрации ТМ в полученных вытяжках были выполнены методом ИСП-МС на приборе PlasmaQuant MS Elite фирмы Analytik Jena.

Полученные результаты показывают, что из всех определенных нами ТМ происходит загрязнение почв только четырьмя элементами – никелем, медью и, в существенно меньших количествах, кобальтом и свинцом. Поэтому все дальнейшие рассуждения будут касаться только их.

Анализ валового содержания показал, что для всех четырех элементов наблюдается существенное превышение ОДК в почвах, расположенных вблизи источников загрязнения. В почвах, удаленных от источника загрязнения на значительное (до 65 км) расстояние, превышение ОДК фиксируется только в нижних горизонтах и связано с повышенным содержанием ТМ в почвообразующих породах.

Превышение ПДК подвижных форм никеля, меди, кобальта и свинца зафиксировано в большем числе случаев, чем для ОДК по валовому содержанию. Следовательно, нормирование содержания ТМ по ПДК подвижных форм позволяет точнее выявить

неблагополучную ситуацию с загрязнением почв ТМ, чем нормирование по валовому содержанию ТМ в почве, так как в этом случае учитывается не всё содержание элемента в почве, а только активная его часть.

Определение водорастворимых форм ТМ показало, что наблюдается сильная корреляционная зависимость между ними и подвижными формами ТМ, а подобной зависимости с валовым содержанием не наблюдается. Весьма высокие содержания водорастворимых форм меди и никеля наблюдаются даже в тех почвах, где нет превышений ОДК по этим элементам. Это свидетельствует о том, что нормирование содержания ТМ по водорастворимым формам соединений позволило бы точнее выявить неблагоприятную эколого-токсикологическую ситуацию, чем остальные способы нормирования.

УДК 631.453

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТОВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н.

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, e-mail: d-chehovich@yandex.ru

Введение. Выбросы от автомобильно-дорожного комплекса оказывают значительное негативное влияние на окружающую среду. Сельскохозяйственные угодья часто являются сопредельными территориями с автомобильными трассами, что может отразиться на состоянии почв придорожных территорий и в результате приводить к необратимым процессам химической деградации земель, получению сельскохозяйственной продукции потенциально опасной для здоровья человека. Целью исследований являлась оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв мелиорированных сельхозугодий под воздействием автомобильного транспорта. Исследование состояния почв (старопахотных агроземов текстурно-дифференцированных и альфегумусовых среднесуглинистых) агроландшафтов, находящихся под воздействием выбросов автотранспорта, проведено на трех объектах мелиорации в Южной и Центральной агроклиматической зоне Карелии.

Результаты исследования. Общая техногенная нагрузка. По результатам оценки общей техногенной нагрузки (Z_p), установленной на основе определения качественных характеристик снежного покрова в условиях выбросов автомобильного транспорта, установлено, что наиболее уязвимой является территория сельхозугодий до 15 м от дорожного полотна (Z_p – 1715,6 – 2723,2 – средний уровень). Несмотря на это, степень загрязнения и ареалы распределения поллютантов на исследуемой территории до 150 м от трассы различаются, судя по химическому составу нерастворимого остатка снега и талой снежной массы. Анализ показал, что суммарный уровень загрязнения талого снега на участке 150 м достоверно выше (Z_c – 22,9), чем на расстоянии 50 м (Z_c – 12,4) от дороги. Однако на исследованных пробных площадях этот показатель для жидкой фракции атмосферных осадков не превышал пороговых критериев. Основная часть твердых выбросов (нерастворимого остатка снега), несущих наибольшую токсическую нагрузку, попадает на территорию до 15 м от трассы, где суммарное загрязнение (Z_c – 132,7) в среднем характеризуется высоким уровнем. Наивысшая концентрация тяжелых металлов в твердом остатке снега до 74 фоновых значений выявлена для Mo, W, Fe, Sn, Sb, Cr, Ni, Zn, Cd, Cu, V, Co, Mn. Превышение ПДК/ОДК обнаружено для Cd – до 10 раз, Zn – 9.4, Co – 9.0, Mo – 7.9, Cu – 3.2, Ni – 2.4 и Fe – 2.1 раза. В талой снежной массе агроландшафтов содержание Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, Co, Cr выше фона до 34 раз.

Нерастворимый остаток снега. В твердом остатке снега наиболее активно относительно фоновых условий накапливался молибден, поступление которого в поверхностный слой агроландшафтов с нерастворимым осадком снега составило от 17,3 до 39,7 мг/кг. Данный элемент в верхнем слое загрязненной почвы на соответствующем участке аккумулировался от 0,6 (min) до 2,8 мг/кг (max), в среднем – 0,9. В фоновых условиях на старопахотных

дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах молибден накапливался в концентрации всего лишь 0,5 мг/кг. ПДК для элемента в СанПиН 1.2.3685-21 отсутствует. По литературным данным, почвы региона отличаются относительно невысоким его содержанием – от 0,6 до 3,4 мг/кг. Предполагаем, что обогащение верхних горизонтов агроландшафтов микроэлементом в вышеуказанных концентрациях может стимулировать рост и развитие сельскохозяйственных культур за счет его положительного воздействия на физиологические процессы.

Вольфрам и ванадий в небольших количествах по своему влиянию на растения схожи с действием молибдена и частично могут его заменить. Результаты анализа показали достаточно интенсивное поступление этих элементов с твердым осадком снега – 10,7 – 16,4 и 214,2 – 246,9 мг/кг, соответственно. Аккумуляция W и V в техногенной пыли, поступающей от автотрассы, больше в 29,6 и 3,3 раза над их содержанием в почвах условно чистых территорий агроландшафтов. Накопление этих элементов в верхнем горизонте почвы на участках вблизи дорог составило – 0,4(W) и 70,1(V) мг/кг и не превышало их токсичные концентрации.

Кадмий в сравнении с другими тяжелыми металлами в техногенной пыли распространялся по придорожной территории неравномерно – его накопление в нерастворимом осадке составило 0,04(min) и 3,3(max) мг/кг, что выше в 2,8 – 13,6 раза его содержания в фоновых условиях. Аккумуляция элемента в почвах соответствующих участков не превосходила ПДК/ОДК – от 0,2 до 0,4 мг/кг.

Остальные токсичные элементы в составе твердого остатка снега имели коэффициенты концентрации меньше 10, вклад каждого из которых в соответствии с методикой учитывался при расчете суммарного загрязнения атмосферных осадков.

Снеготалая масса. Содержание тяжелых металлов выше фоновых условий от 1,5 до 34 раз для Al, Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, Cr. Интенсивная аккумуляция непосредственно у автотрассы до 15 м выявлена для Fe, Al, Cu, Cr, Cd. Значения коэффициентов концентрации этих элементов по градиенту от дороги до 150 м снижаются в отличие от Ni, Mn, Zn, Pb, Co.

Обращают внимание на себя высокие концентрации алюминия в снеготалой массе относительно его фонового содержания (4,1 мкг/л) – от 1,3 до 135,3 мкг/л. Поступление в почвы сельскохозяйственных угодий снеговой воды, обогащенной соединениями алюминия, может отрицательно воздействовать на почвенное плодородие, поскольку подвижные соединения этого элемента вместе с водородным ионом обуславливают pH среды. В почвах на загрязненных участках Al аккумуляровался в 2,5 – 3 раза больше (55706,1±3126,7 мг/кг), чем в фоновых условиях, причем с удалением от трассы выявлено незначительное снижение в его накоплении.

Поступление марганца с жидкой фазой снега в почвы агроландшафтов достоверно увеличивалось по мере удаления от дорожного полотна (15, 50 и 100 м) – 13,7 – 9,6 – 20,9 мкг/л, варьирование в содержании составило 1,1 – 48,4 мкг/л, коэффициенты концентрации относительно фоновых условий (1,1 мкг/л) достаточно высоки – до 28,7. Содержание элемента в почвах импактной зоны уменьшалось с расстоянием от источника загрязнения и не превышало ПДК/ОДК – 455,6 – 1269,4 мг/кг, но относительно фона (674,8 мг/кг) его накопление до двух раз больше.

Содержание Cr(0,90±0,3 мкг/л), Co(0,8±1,5) и Ni(1,9±0,2) в жидкой фазе снега превосходило фон менее, чем в 10 раз. Максимальный коэффициент концентрации выявлен для Ni, и он составил 5,3. Причем Cr и Ni относительно других элементов имели устойчивое превышение фоновых значений на всех объектах (Кк – 1,3 – 5,3). В почвах агроландшафтов данные элементы накапливались неравномерно – с приближением к дороге (150 – 15 м) их аккумуляция в почвах увеличивалась: Cr – 53,0 – 59,9 мг/кг; Ni – 32,1 – 35,3; Co – 14,6 – 18,8 мг/кг. В пахотном горизонте почв содержание этих микроэлементов сопоставимо с фоном или незначительно его превышало (Кс: Cr – до 1,7; Ni – до 1,5; Co – 2,1).

Расчет суммарного показателя загрязнения атмосферных осадков и почв позволяет не только оценить эффект воздействия группы элементов, но отражает специфику массопереноса вещества. Так, значения Z_c жидкой фазы снежного покрова на агроландшафтах вблизи автодорог не достигали критических значений ($Z_c = 18,7 \pm 2,3$), и атмосферные осадки характеризовались как незагрязненные, тогда как анализ коэффициентов суммарного загрязнения нерастворимой части снега выявил следующие уровни: средний ($Z_c = 95,4$) и высокий (170,1 и 132,7). Основная масса загрязнителей оседала непосредственно в почвах придорожной территории сельхозугодий до 15 м от автотрассы. При комплексной оценке загрязнения пахотного горизонта почв на соответствующих участках в среднем определен минимальный низкий уровень – ($Z_c = 8,4 \pm 6,1$). Однако почвы некоторых объектов исследования характеризовались средним и высоким уровнем. В верхнем горизонте почв выявлена общая тенденция для всех изученных объектов: снижение значений Z_c по мере удаления от дорожного полотна – 15,9 – 14,5 – 12,0.

УДК 631.417

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ ПОБЕРЕЖЬЯ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

Дудникова Т.С.

Южный федеральный университет, г. Ростов на-Дону, e-mail: ts-dudnikova@tyto98.ru

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) входят в группу канцерогенно активных органических веществ, 16 представителей которых включены в список приоритетных поллютантов агентства по охране окружающей среды США. Основным структурным элементом ПАУ является бензольное кольцо. С увеличением их количества растворимость ПАУ в воде снижается, увеличивается их токсичность и устойчивость в объектах окружающей среды.

Данные соединения получили массовое распространение в почвах в связи с разливами нефти и нефтепродуктов, осаждения аэрозолей-носителей ПАУ, поступающих в атмосферу в результате эротехногенных выбросов предприятий промышленности. Соединения ПАУ в почве обладают различной биодоступностью, и, соответственно, биоразлагаемостью. Биодоступность органических поллютантов контролируется рядом факторов, включая физические и химические свойства почв, историю землепользования, интенсивность и тип техногенной нагрузки, а также свойства самих поллютантов. Преимущественно наиболее доступная фракция ПАУ в почве поглощается живыми организмами. Следовательно она является более точным предиктором при прогнозировании экологических рисков, вызванных накоплением органических канцерогенов в депонирующих средах. Тем не менее в настоящее время исследование фракционного состава ПАУ в почвах не проводятся. В этой связи возникает необходимость исследования фракционного состава ПАУ прежде всего в почвах природных территорий, служащих в качестве эталонных объектов при оценке последствий техногенного вмешательства. Цель работы состояла в определении фракционного состава ПАУ в незагрязненных почвах побережья таганрогского залива на примере аллювиальных почв.

Объектом исследования являлась почва – плувиальная луговая насыщенная почва, расположенная на южном побережье таганрогского залива в пределах особо охраняемой природной территории «Беглицкая коса». Отбор проб осуществлялся на глубину 0-20 см. Фракционирование ПАУ осуществлено с использованием экстрагентов различной силы таких как дистиллированная вода для извлечения ПАУ, находящихся в водном растворе, 1М щавелевая кислота, с помощью которой извлекали органически кислоторазстворимую фракцию ПАУ, метанол в сочетании с 1М NaOH (14:1) для извлечения органически связанной фракции и гексан для остаточной фракции поллютантов. Количественный анализ

ПАУ в экстракте выполнен с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260. В ходе исследования определены 15 представителей ПАУ, входящих в список приоритетных поллютантов.

В результате исследования установлено, что общее суммарное содержание ПАУ в исследуемой почве составляет 165 нг/г. Из них на водорастворимую фракцию приходится - 8 нг/г, органически кислоторастворимую – 17 нг/г, органически связанную – 73 нг/г и остаточную – 67 нг/г. В составе всех фракций преобладают низкомолекулярные соединения, особенно фенантрен, доля которого в составе суммы 15 ПАУ варьирует от 29% до 45%. При этом доля всех исследуемых низкомолекулярных соединений в водорастворимой фракции составляет 61%, в органически кислоторастворимой – 70%, органически связанной – 60% и остаточной – 43%.

Таким образом, фракционирование ПАУ 0-20 см слоя аллювиальной луговой насыщенной почвы показало, что поллютанты находятся преимущественно органически связанной (73 нг/г) и остаточной (67 нг/г) фракциях. В составе ПАУ преобладают низкомолекулярные соединения, прежде всего фенантрен, доля которых во фракциях увеличивается в ряду: органически кислоторастворимая > водорастворимая > органически связанная > остаточная. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20- 14-00317

УДК 631.417.7

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТРАНСПОРТНОЙ ЗОНЫ Г.МОСКВЫ

Завгородняя Ю.А., Демин В.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, zyu99@mail.ru

Для прогнозирования развития городских экосистем требуется разнообразная и систематическая информация о состоянии почв, как их ключевого компонента. Значительное внимание при этом должно уделяться мониторингу различных групп углеводородов (УВ) в связи с масштабностью их распространения и негативным влиянием на живые организмы. Для городских экосистем при оценке уровней содержания УВ в верхних горизонтах почв - одной из основных зон депонирования - важными аспектами, определяющими необходимость комплексного подхода, являются: наличие множественных мобильных и диффузных источников загрязнений; высокая пестрота и временная изменчивость почвенного покрова; возможные изменения режимов функционирования верхних слоев почвы в результате повышения техногенной нагрузки или перепланировки городской территории. Необходимо также учитывать, что углеводородный состав почв формируется не только за счет техногенных источников, но и за счет нативных (биогенных) УВ, содержание которых в почвах и искусственных грунтах при высокой обогатенности органическим веществом может быть весьма значительным.

В крупных мегаполисах с развитой инфраструктурой автотранспортный комплекс относится к основным мобильным источникам загрязнения окружающей среды, воздействие которого распространяется на большие пространства. Транспортное загрязнение почв имеет не локализованный, а общегородской характер. В целях разработки процедуры диагностики углеводородного загрязнения почв, которая обеспечивает количественную оценку техногенного воздействия, проведено исследование содержания и состава групп УВ в верхних горизонтах почв г.Москвы, расположенных в зонах транспортного влияния на территориях различного функционального назначения.

В пределах ВАО г.Москвы был произведен отбор верхнего (0-20 см) слоя почв в 66 точках, заложенных на городских территориях различного функционального назначения в зонах влияния транспорта: примыкающих к полотну автодорог; перед домами, выходящими фасадом на магистрали; на разделительных полосах и бульварах; на автостоянках; в зоне гаражной застройки; на рекреационных территориях на разном удалении от магистралей; в

промзонах; в зоне отвода дорог; на дворовых территориях с домами различной этажности; в местах проезда и стоянок личного автотранспорта; вокруг строений технического обслуживания. На исследованных территориях в жилой и общественной зонах почвы представлены в основном реплантоземами с периодически сменяемым верхним слоем; почвы гаражных застроек, зоны отвода, промышленной зоны - индустриземы и техноземы; почвы на территории Национального парка «Лосиный остров» - дерново-подзолистые. В образцах почв определяли содержание фракций УВ и алифатических УВ по разработанной методике ФР 1.31.2019.33304 методом капиллярной газожидкостной хроматографии и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Во всех пробах верхних горизонтов городских почв диагностируется «транспортный» тип хронического УВ-загрязнения по наличию на хроматограммах «горба», состоящего из большого количества неразделенных относительно высокомолекулярных компонентов с температурой кипения выше 350°C. В ряде проб были обнаружены признаки загрязнения нефтепродуктами более легкого типа по наличию индивидуальных соединений и «горба» в среднетемпературной области хроматограммы. Для выделения количественного вклада присутствующих в почве биогенных УВ из общей площади под хроматограммой вычитали площади пиков алканов с длиной цепи C₂₃-C₃₅, источником которых являются в основном высшие растения, учитывая при расчетах содержания техногенных УВ только величину «горба». Содержание биогенных УВ составляло от 2 до 33% от общего содержания УВ в почвах (таблица) и положительно коррелировало (R~0,75) с содержанием органического углерода и азота.

Таблица. Содержание фракций углеводородов в верхних горизонтах почв ВАО г.Москвы.

Группы почв	Техногенные УВ, мг/кг		Биогенные УВ, мг/кг		ПАУ (Σ11), мг/кг	
	среднее	мин.-макс.	среднее	мин.-макс.	среднее	мин.-макс.
<150 мг/кг	83	45-133	23	8-70	2,41	0,36-18,72
150-300 мг/кг	202	159-287	33	13-57	3,34	0,67-16,83
300-900 мг/кг	544	409-791	36	9-92	2,57	1,16-6,44
>900 мг/кг	2535	969-3563	107	77-140	6,33	0,63-16,01

По содержанию техногенных УВ в верхнем горизонте городские почвы были разделены на группы (таблица). Почвы с низким уровнем загрязнения техногенными УВ - почвы скверов и внутренних дворов, удаленные на расстояние >10 м от зоны активного движения автотранспорта или с недавно замененным верхним слоем грунта. Почвы со средним уровнем загрязнения - расположенные от источника транспортных выбросов на расстоянии 5-10 м: на разделительных полосах, между пешеходными тротуарами и строениями, в проездных дворах и дворах, выходящих на автомагистрали. Почвы с высоким загрязнением находились на расстоянии от дорожного полотна <5 м - на обочинах, автостоянках, около гаражей. Почвы с аномально высоким загрязнением встречались в местах постоянной геохимической аккумуляции нефтепродуктов или при низком уровне рекультивации территории.

Суммарное содержание ПАУ в почвах широко варьировало (таблица). Выделить группы по содержанию ПАУ для исследованных почв не удалось, поскольку экстремально высокие значения получены для точек, как испытывающих транспортную нагрузку, так и удаленных от зон движения автотранспорта. Уровень загрязнения почв ПАУ не коррелировал ни с содержанием органического вещества, ни с содержанием фракций техногенных УВ. В результате проведенных исследований предложен подход к оценке транспортного загрязнения углеводородами почв городских территорий с учетом следующих факторов: расстояния от зоны движения автотранспорта, времени формирования верхнего слоя почвы, защищенности почвенной поверхности травяным покровом, типа функционального назначения территории. Необходимо учитывать, что в городах размеры и конфигурация зон

негативного влияния автотранспорта не ограничиваются линейными областями, примыкающими к трассам. Повышенную техногенную нагрузку, связанную с эксплуатацией транспортных средств, испытывают городские почвы, расположенные в пределах всех территорий, не отгороженных строениями и плотными зелеными насаждениями от мест движения, парковки и технического обслуживания автомобилей.

При проведении количественного определения УВ-загрязнения в верхних горизонтах городских почв методом газовой хроматографии можно вычитать содержание нативных УВ, а также по расположению «горба» на хроматограмме в средне- или высококипящей области проводить идентификацию источника загрязнения, выделяя для городских почв случайный (аварийный) или постоянный (хронический) тип загрязнения техногенными УВ.

Содержание ПАУ в почвах городских территорий не может быть использовано для анализа актуального уровня транспортного загрязнения углеводородами, так как определяется также величиной депонированного загрязнения, источники которого могут быть не связаны с транспортной нагрузкой.

УДК 631.417

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Замулина И.В., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Дудникова Т.С., Бурачевская М.В., Ларина Э.В.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, ivzamalina@sfedu.ru

Содержание органического вещества – неотъемлемый показатель почвенных исследований, используемый в целях мониторинга и оценки состояния почв, а его состав напрямую связан с количеством и качеством поступающих органических остатков, скорости их минерализации и гумификации, а также химического состава почв. В условиях техногенного воздействия аккумуляция поллютантов способствует изменению состава почвенного органического вещества, что существенно влияет на функции и плодородие почв.

Для выявления трансформационных изменений структурно-функционального состава органического вещества изучены почвы Каменского района Ростовской области: лугово-черноземная почва и хемозем, сформированный на дне высохшего озера, используемого до 1990 г. в качестве накопителя отходов химического комбината. Хемоземы характеризуются высоким содержанием тяжелых металлов, особенно Zn (до 700 мг/кг), и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

Общий органический углерод (Сорг) определяли методом мокрого сжигания по Тюрину, фракционно-групповой состав гумуса по методу Пономаревой и Плотниковой. Для описания лабильных компонентов осуществляли экстракцию холодной и горячей водой. Содержание Сорг оценивали бихроматным окислением водных экстрактов. Препараты ГК из поверхностных слоев (0-20 см) исследуемых почв выделены методом Д.С. Орлова и Л.А. Гришиной. Структурно-функциональный состав оценивали методами ИК-спектроскопии и ЯМР. Измерения ИК-спектров ГК осуществляли на спектрометре Vertex 70 (Bruker, США) геометрии АTR с использованием детектора МСТ и приставки Bruker Platinum ATR в диапазоне от 4000 до 400 см⁻¹. Образец сравнения – КВг. Спектроскопии ¹³С-ЯМР проводили в жидкой фазе. Спектры ¹³С-ЯМР регистрировали на спектрометре Bruker Avance-600 с рабочей частотой 150 МГц. Химические сдвиги выражены относительно тетраметилсилана. Экстракцию ПАУ проводили гексаном с последующим переводом экстракта в ацетонитрил. Количественно определяли содержание 16 приоритетных ПАУ в экстракте методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и тяжёлых металлов рентгенфлуоресцентным методом.

Результаты показали, что в лугово-черноземной почве содержится 3,4 % Сорг, а в хемоземе 3,5 %. Содержание водорастворимого органического вещества холодной экстракции лугово-

черноземной почве составляет 85 мг/л, горячей – 960 мг/л. Для хемозема эти показатели принимают значения 96 мг/л при холодной экстракции и 710 мг/л при горячей.

Анализ фракционно-группового состава гумуса показал, что ведущим компонентом лугово-черноземной почвы и хемозема являются фульвокислоты. В составе гуминовых кислот в лугово-черноземной почве преобладает фракция ГК-1 (17,3 %), в хемоземе ее содержание 14,5 %. Количество негидролизуемого остатка при загрязнении увеличивается до 35,3 % по сравнению с незагрязненной почвой (28,1 %).

ИК-спектры поглощения препарата ГК лугово-черноземной почвы имеет типичное строение для почв черноземной зоны, в то время как в ГК хемоземов выявлено наличие разветвленных боковых алифатических цепей и углеводных компонентов. Отличительной особенностью ГК хемоземов является пики при длинах волн 2850 см^{-1} и 2930 см^{-1} , обусловленные валентными колебаниями CH_2 - и CH_3 - групп и связей С-Н в алифатических CH_3 и CH_2 группах, а также проявление асимметричных и симметричных деформационных колебаний связи С-Н в CH_2 - и CH_3 -группах (1456 см^{-1}) и колебания связи С-О и деформационные колебания групп OH – COOH (1235 см^{-1}), соответствующие ароматическим и фенольным группам. Также для хемоземов выше выраженность полос поглощения в области $700\text{-}600\text{ см}^{-1}$, соответствующие валентным колебаниям С-S, и $500\text{-}400\text{ см}^{-1}$ – валентные колебания S-S связей.

Анализ ИК-спектров позволяет предположить вхождение в состав ГК при лабораторном экстрагировании веществ «непочвенной» природы, предположительно ПАУ. Содержание различных групп ПАУ в ГК хемозема выше в 10–433 раза, чем в лугово-черноземной почве, и в 1,4–2,4 раза превышает их концентрации в почве. Для незагрязненной почвы аналогичных закономерностей выявлено не было.

Анализ спектров поглощения атомов углерода в соответствующих диапазонах спектра ^{13}C ЯМР подтвердил наличие ароматических и алифатических фрагментов, а также различных функциональных групп, и соответствовал литературным данным о строении ГК. В структуре ГК лугово-черноземной почвы преобладают каркасные (ароматические) фрагменты с относительно небольшим вкладом углеводной периферии. Максимумы интенсивности для этих почв достигаются в области С- и Н- замещенных алифатических атомов углерода (5–48 м.д.) – 22 – 25 % от общего содержания углерода и ароматической области спектра (108–145 м.д.) - 37 – 41 %. Это позволяет предположить наличие поликонденсированных структур и их высокую гидрофобность. Для хемоземов наблюдается большее содержание углеводной компоненты в структуре ГК (75–69 %), что обуславливает их повышенную растворимость и гидрофильность. Содержание ароматических структур составляет 12–17 %, карбоксильных групп – 4 – 5 %. Присутствие значительного алифатического компонента в хемоземе возможно связано с медленными темпами разложения органического вещества в присутствии поллютантов и их высокого содержания. Степень ароматичности ($f_a = \text{C}_{\text{Ar-H}}, \text{R}^+ + \text{Ar-O}, \text{N}$) ГК лугово-черноземной почвы значительно выше хемозема: 38–44 % против 12–20%. Показатель гидрофобности (f_h/h), рассчитанный как $f_h/h = (\text{C}_{\text{Ar-O}, \text{N}} + \text{C}_{\text{COO-H}}, \text{R} + \text{C}_{\text{C=O}} + \text{C}_{\text{Alk-O}, \text{N}}) / (\text{C}_{\text{Ar-H}, \text{R}^+} + \text{C}_{\text{Alk-H}, \text{R}})$, также выше для незагрязненных почв. Таким образом, высокий уровень загрязнения приводит к увеличению содержания водорастворимого органического вещества и свободных фракций гуминовых и фульвокислот, увеличивается содержание углеводной компоненты в структуре ГК, что обуславливает их повышенную растворимость и гидрофильность.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение No 075-15-2022-1122

УДК 631.416.9

НОВЫЕ МЕТОДЫ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОГО АНАЛИЗА ПОЧВ, УДОБРЕНИЙ И СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ БЕЗ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ

Захаров Ю.А.¹, Волошин А.В.¹, Новиков И.Д.¹, Хайбуллин Р.Р.², Ирисов Д.С.^{1,3}

¹Казанский федеральный университет, Казань, e-mail Yuri.Zakharov@kpfu.ru;

²ООО Атомизация, Казань, e-mail rustem21@yandex.ru;

³ООО Атзонд, Казань, e-mail idsrus@yandex.ru

Определению химических элементов в почвах, удобрениях и сельхозпродукции уделяется большое внимание. От их содержания зависит как плодородие, так и экологическая безопасность. Множество лабораторий регулярно анализирует эти объекты на нормируемые показатели, например, тяжелые металлы, в основном применяя атомно-абсорбционные спектрометры, в том числе с графитовой кюветой. Они, конечно, уступают по производительности масс-спектрометрам с индуктивно связанной плазмой, но при небольшом потоке проб существенно экономичнее. Сложность классического определения валовой концентрации элементов связана с необходимостью предварительного растворения проб в кислотах и устранения матричных помех при измерениях. Поэтому развитие методов прямого анализа твердых проб, то есть без химической подготовки, является актуальной задачей. В докладе представлены новейшие совместные разработки казанских предприятий ООО «Атзонд», ООО «Атомизация» и Института физики КФУ, позволяющие осуществлять такой анализ с помощью серийных атомно-абсорбционных спектрометров любой модели. Предлагается оснащать спектрометр двумя приставками: ЭТАР-1 для определения ртути и Атзонд-1 для других элементов. ЭТАР-1 (электротермический атомизатор ртути) работает следующим образом. Навеска пробы массой до 1 г в фарфоровой лодочке загружается в его кварцевую трубчатую печь и нагревается до 700 °С. Там проба за 5 минут сжигается в потоке воздуха с полным выпариванием из нее ртути. Продукты сжигания пропускаются через фильтр-осушитель и электростатический фильтр для улавливания частиц дыма. В результате выходит смесь газов без мешающих измерением атомной абсорбции ртути компонентов. Ее по трубочке направляют в графитовую кювету спектрометра, где ртуть адсорбируется, а остальное удаляется. После такого концентрирования кювету импульсно нагревают до 1000 °С для быстрого в течение 2-3 секунд испарения ртути и получают аналитический сигнал. Предел обнаружения ртути составляет 0,0005 мг/кг, погрешность не более 10% при n=5 в диапазоне 0,001-10 мг/кг. Это значительно ниже действующих в настоящее время ПДК для почв и удобрений 2,1 мг/кг, растительной, мясной и молочной продукции 0,005-0,2 мг/кг, что позволяет более точно определять превышение ПДК, а также проводить тонкие фундаментальные исследования, например миграции ртути в почвах, организмах, обитающих в ней, и растениях. Прямой перенос очищенного пара ртути из твердой пробы в графитовую кювету реализован нами впервые в мире. В известных аналогах пар ртути подается в нее только из химических реакторов для жидких проб после обработки восстановителем типа хлорида олова или тетрабората натрия. Поэтому ЭТАР-1 открывает новые перспективы для исследования содержания ртути в почве и связанных с ней объектах с использованием графитовой кюветы. Приставка ЭТАР-1 может успешно применяться так же на спектрометрах без графитовой кюветы, например, с пламенным или ртуть-гидридным атомизатором. Для этого в ЭТАР-1 предусмотрен режим работы с накоплением ртути на встроенном золотом амальгаматоре и последующим импульсным испарением ее в стеклянную кювету спектрометра. Еще, благодаря полному устранению мешающих газов, ЭТАР-1 применим с анализаторами ртути, которые не имеют корректора фона, например, с отечественными типа Юлии или УКР-1МЦ. Он существенно превосходит прилагаемые к ним испарители твердых проб Термо-ПУ и УВН-1А по навеске пробы, а значит по чувствительности, и обеспечивает анализ почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Известно, что сильно коптящие, жиросодержащие пробы быстро выводят из строя весьма дорогие стационарные амальгаматоры из золотой нити, применяемые в этих испарителях. В отличие от них ЭТАР-1 использует легко регенерируемый на месте порошковый амальгаматор. ЭТАР-1 является полезной приставкой так же для импортных анализаторов

ртути в твердых пробах (DMA-80, SMS-100 и т.п.), в которых для сжигания пробы используется чистый кислород, а для фильтрации газов - порошковый каталитический патрон и золотой амальгаматор. Ресурс этих дорогостоящих запчастей всего несколько месяцев. Выходной шланг ЭТАР-1, подключенный к штуцеру подачи кислорода, делает ресурс данных анализаторов неограниченным и избавляет от необходимости во взрывоопасном баллонном кислороде. Если анализатор с автосэмплером, то ЭТАР-1 подключается в промежуток между каталитическим патроном и амальгаматором, поэтому не мешает использовать автосэмплер. Приставка ЭТАР-1 так же существенно повышает возможности отечественных анализаторов ртути серии РА-915 (Люмэкс) с корректором фона, особенно когда из-за слишком интенсивного фона требуется снижение навески пробы. Вторая, давно известная приставка Атзонд-1 обеспечивает устранение матричных помех за счет двухстадийной зондовой атомизации в графитовой кювете всех других микроэлементов, например, свинца, кадмия, мышьяка. При необходимости она позволяет понизить чувствительность спектрометра и определять концентрацию макроэлементов в почве, например, кремния, железа, алюминия, цинка и т.д. В составе Атзонд-1 теперь имеется инновационная насадка на штатный автосэмплер спектрометра, позволяющая дозировать в графитовую кювету твердые пробы массой до 5 мг в виде суспензий, автоматически перемешивая их перед забором требуемой аликвоты. Насадка представляет собой полую штангу с продетой внутри трубочкой диаметром 1 мм для засасывания аликвоты и закрепленным снаружи миниатюрным электромотором с эксцентриком. Мотор автоматически включается, когда штанга приближается к виалу с суспензией. В результате конец трубочки, опускаясь в виалу, интенсивно колеблется и мгновенно взбалтывает осевшие на дне частицы пробы. После этого происходит засасывание однородной субстанции и перенос ее в графитовую кювету для высушивания, атомизации и измерения аналитического сигнала. Все это позволяет осуществлять последовательный анализ нескольких проб на разные элементы в полностью автоматическом режиме без участия оператора. Такой аналитический комплекс призван не только ускорить рутинные измерения, но и организовать уникальные эксперименты по изучению почв на предмет однородности распределения элементов в ее частицах, сорбционных свойств, соотношения водорастворимых и кислоторастворимых фракций и т.п. При установке приставки Атзонд-1 предусмотрены дополнительные опции для популярных отечественных спектрометров МГА-915 и МГА-1000 (Люмэкс), которые изначально выпускаются в комплектации только для анализа жидкостей простого матричного состава. Опции касаются защиты датчика температуры кюветы от копоти и установку видеокамеры для наблюдения полости кюветы при дозировании и высушивании пробы. Эти дополнения делают возможным прямой анализ сложных проб, в том числе почв на этих спектрометрах. На рисунке представлен спектрометр МГА-915МД (1) с приставками ЭТАР-1 (2), Атзонд-1 (3) и насадкой автосэмплера (4). С его работой можно ознакомиться в лаборатории Института физики КФУ.



УДК 631.412

ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ МЕДИ НЕКОТОРЫМИ ТИПАМИ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ БАРАБЫ

Иовчева А.Д.¹, Пинский Д.Л.¹, Семенов И.Н.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, y_nastia@mail.ru, pinsky43@mail.ru

²МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва; semenkov@geogr.msu.ru

Поглотительная (сорбционная) способность почв определяет устойчивость почвы к загрязнению различными веществами, в том числе медью (Cu). Кроме того, сорбционная способность определяет пул биодоступных макро- и микроэлементов, необходимых для существования растений. Способность почв к сорбции определяется основными почвенными свойствами: состав и содержание органического вещества ($C_{орг}$, %), pH, наличие карбонатов, степень и тип засоления, и прочие. Cu, с одной стороны, относится к категории биофильных элементов, которые необходимы живым организмам в небольших количествах (участвует в процессах фотосинтеза и фиксации азота в растениях, ее дефицит приводит к снижению объемов урожая сельскохозяйственных культур). С другой стороны, высокие концентрации Cu могут быть токсичны для растений и микроорганизмов, этот элемент относится ко 2 классу опасности согласно российским санитарно-эпидемиологическим нормам. Цель данной работы – дать сравнительную оценку способности исследуемых почв сорбировать ионные соединения Cu. Объекты исследования – гумусовые горизонты чернозема квазиглееватого (AU), солонча темного квазиглеевого (SEL), гумусово-квазиглеевой солончаковой почвы (HAU_s), которые сформировались в пределах одной приозерной геохимической катены, расположенной в лесостепной зоне Барабинской низменности. В горизонтах AU и SEL $C_{орг} = 3-3,5$ %, в горизонте HAU_s – 5,1 %. Физической глины (ФГ) в образцах содержится около 40-50 %. pH горизонта AU чернозема – нейтральный, SEL и HAU_s – слабощелочной. Гумусовые горизонты чернозема и солонча темного квазиглеевого не засолены, $CaCO_3$ в них <1 %. Гумусовый горизонт HAU_s солончаковой почвы характеризуется вскипанием от 10% HCl, хлоридно-сульфатно-натриевым химизмом засоления и суммой токсичных солей $S_{токс} = 0,1-0,3$ %.

Эксперименты по оценке поглотительной способности почв проводились методом серий растворов. К навескам образцов в соотношении почва:раствор — 1 : 10 приливали растворы ацетата меди с концентрацией от 2 до 200 мг/л. Суспензии встряхивали в течение 4 часов и оставляли на 20 ч до достижения равновесия. Количество поглощенной меди ($C_{Cu,ads}$) рассчитывали по разности между ее содержанием в исходном растворе и в равновесном (C_{Cu}). Содержание Cu в равновесном растворе определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии, по полученным данным были построены изотермы. Для аппроксимации экспериментальных данных были использованы уравнения Фрейндлиха и Генри (таблица). Таблица. Параметры уравнений адсорбции.

Горизонт	Примерный диапазон $C_{Cu,ads}$, мг/л	Параметры уравнений адсорбции				
		Фрейндлиха:			Генри:	
		$C_{Cu,ads} = K_F \times C_{Cu}^{\frac{1}{n}}$			$C_{Cu,ads} = K_d \times C_{Cu}$	
		K_F	$1/n$	R^2	K_d	R^2
AU	0-200	$788,6 \pm 427,3$	$0,7 \pm 0,1$	0,87	$3138,6 \pm 359,9$	0,79
SEL	0-200	$53009,7 \pm 16022,7$	$2,1 \pm 0,1$	0,99	$887,8 \pm 91,6$	0,83
HAU_s	0-20	$3154,8 \pm 1213,7$	$1,2 \pm 0,1$	0,99	$1148,7 \pm 40,7$	0,99
	20-200	н.а.			$3516,1 \pm 510,2$	0,71

Примечания: $C_{Cu,ads}$ – количество поглощенных катионов (ммоль/кг), C_{Cu} – концентрация катионов в равновесном растворе (ммоль/л); K_F – константа Фрейндлиха, характеризует прочность связи сорбтива с сорбентом; K_d – коэффициент распределения; н.а. – не аппроксимируется.

Известно, что поглощение ионов почвой возможно не только на поверхности твердофазных частиц (адсорбция), но и в объеме (абсорбция). Однако предполагается, что адсорбционный механизм вносит основной вклад в общий процесс сорбции металлов почвами, для него выведены теоретически обоснованные уравнения для аппроксимации экспериментальных данных. Адсорбция Cu черноземом и солонцом темным квазиглеевым описывается двумя типами уравнений адсорбции – Фрейндлиха и Генри (таблица). Изотерма адсорбции гумусово-квазиглеевой почвы имеет сложную форму и не описывается достоверно никаким из классических уравнений адсорбции, поэтому была предпринята попытка разделить ее на отдельные участки и аппроксимировать их обособленно. В итоге получилось аппроксимировать более пологий участок изотермы, с диапазоном поглощенных концентраций от 0 до примерно 20 мг/л (0-3 ммоль/кг) обоими типами уравнений (Фрейндлиха и Генри), а более крутой участок изотермы от 20 до 200 мг/л (от 3 до 30 ммоль/кг) только с помощью уравнения Генри. Рассчитанные параметры адсорбции (K_F и K_d) позволяют дать сравнительную оценку адсорбционным способностям исследуемых почв. Уравнения Фрейндлиха и Генри позволяют описать те случаи, когда экспериментальные данные формируют изотерму безграничной адсорбции. То есть, в использованном в эксперименте диапазоне вносимых концентраций при увеличении дозы не уменьшалась доля поглощенного элемента от внесенного. Косвенно долю адсорбированного элемента показывает коэффициент распределения K_d , который представляет собой отношение концентрации поглощенного элемента в твердой фазе к его содержанию в равновесном растворе. Чем выше значение K_d , тем больше способна адсорбировать почва. В данном случае значение K_d минимально для горизонта SEL солонца темного квазиглеевого, выше способность к адсорбции Cu у AU чернозема и HAU_s гумусово-квазиглеевой почвы. Причем для HAU_s отмечается увеличение адсорбции на втором участке изотермы ($K_{d2} = 3516 > K_{d1} = 1149$), что может быть связано с изменением соотношения механизмов адсорбции, например, с возможным началом осадкообразования или с особенностями ионного обмена. Наличие ионообменного механизма подтверждается тем фактом, что при $C_{Cu,ads} > 3$ ммоль/кг наблюдается увеличение десорбции Ca и Mg, которое коррелирует ($R^2 = 0,98$) с увеличением адсорбции Cu. Однако, эквивалентность ионного обмена для солончаковой почвы установить не удалось (в отличие от чернозема, где она наблюдается при $C_{Cu,ads} > 6$ ммоль/кг).

Константа Фрейндлиха K_F в данном исследовании максимальна для SEL солонца темного квазиглеевого и минимальна для AU чернозема (таблица 1). Таким образом, статистически у SEL оказывается максимальное сродство к Cu, а у AU – минимальное во всем диапазоне внесенных концентраций. HAU_s солончаковой почвы демонстрирует достаточно высокое значение K_F в диапазоне $C_{Cu,ads} \leq 3$ ммоль/кг, что обусловлено вероятным преобладанием специфического механизма адсорбции на данном участке изотермы. Полученная картина может объясняться по-разному. С одной стороны, многие физико-химические свойства SEL мало отличаются от свойств AU в худшую сторону (близкие концентрации $C_{орг}$ и ФГ, комковатая структура), при этом $7,5 < pH < 8$ может способствовать большей селективности адсорбции Cu горизонтом SEL, нежели AU. Также в данном диапазоне pH выше вероятность осаждения некоторых соединений Cu (то есть выше вероятность хемосорбции), что тоже может иметь отражение на графике. С другой стороны, изотерма адсорбции Cu горизонтом SEL имеет редкую параболическую форму $1/n = 2$ (чаще всего значение $1/n < 1$), что может определять неоднозначность трактовки результатов аппроксимации. Дальнейшее определение суммарного высвобождения наиболее подвижных форм (с помощью фракционирования) позволит лучше оценить способность солонца темного квазиглеевого

прочно удерживать адсорбированную Си и сравнить полученные данные с результатами фракционирования образцов чернозема квазиглееватого и гумусово-квазиглеевой солончаковой почвы.

УДК 631.474

ПРОБЛЕМАТИКА ОТСУТСТВИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМАТИВОВ СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Кобцева М.А.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: marsha4@rambler.ru

В настоящее время не существует предельно допустимых концентрации нефтепродуктов в почвах, установленными на высшем законодательном уровне. Имеются лишь региональные нормы для некоторых областей РФ. Регионам, где нормативы ОДК отсутствуют, единственным критерием загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами является превышение над фоновым значением углеводов в почвах. Но фоновые значения в каждом регионе и для каждого типа почв различные, поэму необходимо установить фоновое значение массовой доли нефтепродуктов конкретно для исследуемой территории и субъекта РФ.

Несмотря на большое количество исследований, посвященных проблеме нормирования нефтепродуктов, остаются нерешенными многие вопросы, связанные с разработкой предельно допустимых концентраций и оценкой воздействия нефтяного загрязнения на почву, особенно для земель сельскохозяйственного назначения.

Проверяющие инстанции, такие как Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор) и Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), сталкиваются с проблемой отсутствия допустимых концентраций нефтепродуктов в почве. Выявив по результатам лабораторных исследований содержание массовой доли нефтепродуктов на уровне, к примеру, 500 мг/кг, проверяющая служба не может оценить масштаб воздействия токсиканта на почву. Если руководствоваться «Методическим рекомендациям по выявлению деградированных и загрязненных земель», утвержденных письмом Комитета РФ по земельным ресурсам и землеустройству от 27 марта 1995г, №3-15/582, то низкий уровень загрязнения почв составляет от 1000 до 2000 мг/кг, средний уровень: от 2000 до 3000 мг/кг, высокий – от 3000 до 5000 мг/кг, и очень высокий – свыше 5000 мг/кг. Тем самым, любое загрязнение почв ниже 1000 мг/кг приравнивается к допустимому уровню воздействия, что противоречит литературным данным о влияние уровней загрязнения на биоту, на ферментативную активность и, в целом, на экосистему.

В Ростовской области отсутствуют регламентированные пороги концентрации нефти и нефтепродуктов в почвах. В связи с этим, проверяющим инстанциям достаточно трудно привлечь к административной ответственности лиц, допустивших загрязнение почв углеводородами нефтяного промысла.

Отдельные представления о допустимости тех или иных количеств нефтепродуктов в почвах связываются преимущественно с перспективами хозяйственного использования почв или же с рекультивацией нарушенных земель.

На территории Ростовской области, как индустриально развитого субъекта РФ, случаются происшествия, связанные с разливом нефти и нефтепродуктов, загрязнению сельхозугодий. В связи с этим, проблематика отсутствия регионального нормирования содержания нефтепродуктов в почвах Ростовской области остается актуальной до настоящего времени. Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030")

УДК 631.45

ОРГАНОГЛИНЫ НА ОСНОВЕ ПАВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Козьменко С.В., Бурачевская М.В., Переломов Л.В., Герцен М.М., Дудникова Т.С.
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула, e-mail:
svkozmenko1@gmail.com

В настоящее время в глобальном масштабе происходит накопление химических загрязнителей, в т.ч. тяжелых металлов, компонентами биосферы, происходит её полихимизация. Сорбционная ремедиация природных сред является наиболее распространенным среди всех существующих способов детоксикации почв от поллютантов. Благодаря развитой системе мезо- и микропор природные филлосиликаты и органоглины на их основе широко используются для восстановления почв. Целью нашей работы являлось изучение сорбционных свойств синтезированных органоглин на основе смектитов и амфотерных ПАВ по отношению к тяжелым металлам (на примере Pb).

Для синтеза органоглин был использован бентонит Саригюхского месторождения (Армения) (продукция BentoGroupMinerals, Москва). Для синтеза органоглин использовали моноионную натриевую форму бентонита и амфотерные ПАВ (кокоиминодипропионата натрия и кокоамфодиацетата динатрия). Соответствующее количество органического модификатора было растворено в воде и добавлено к 5 г. минерала. Смесь была тщательно размешана, встряхивалась в течение 24 часов и далее разделена центрифугированием.

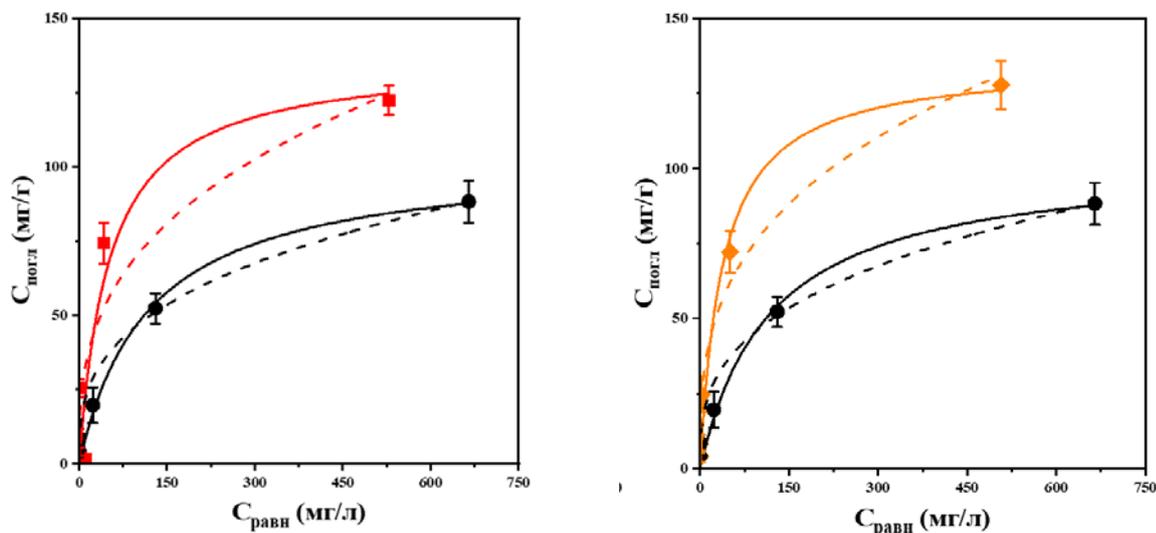
Осадок был трижды промыт деионизированной водой и после объединения осадков, полученная органоглина высушивалась при температуре 60°C и измельчалась.

Изучение адсорбции Pb синтезированными органоглинами проводили в статических сорбционных экспериментах. К 0,2 г органоглины в конической колбе на 100 мл добавляли раствор нитрата металла соответствующей концентрации (от 0,4 мМ до 4 мМ, соответственно 20 мМ/кг-200мМ/кг). Эксперименты проводили в среде электролита – 0,01 М KNO₃ с pH 5. Соотношение твердой фазы и жидкой фазы составляло 0,2:50. Суспензия была тщательно размешана, после чего встряхивалась на орбитальном шейкере в закрытых колбах при частоте 180 движений в минуту в течение 3 часов при температуре 22-23°C. После этого органоглина и жидкая фаза были разделены центрифугированием при 9000 оборотов/минуту в течение 15 минут с последующей декантацией надосадочной жидкости и фильтрацией через шприцевый фильтр с диаметром пор 0,45 микрометров. Содержание Pb в жидкой фазе определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией проб на спектрометре Analytic Jena ContrAA® 800 F в лаборатории биогеохимии ЦТП ТГПУ им. Л.Н. Толстого. Количество адсорбированного металла рассчитывали по разности между их концентрациями в исходном и равновесном растворах.

Для получения качественной и количественной характеристики сорбционных свойств сорбентов по отношению к изучаемому металлу (Pb) строили графическую зависимость в координатах $C_p - C_{ад}$; где C_p - равновесная концентрация внесенного поллютанта в растворе, мг/л; $C_{ад}$ - удельное содержание поллютанта в фазе сорбента, мг/г. Полученные изотермы адсорбции аппроксимировали моделями Ленгмюра и Фрейндлиха. Построение экспериментальных кривых и их аппроксимация были выполнены в статистической программе «SigmaPlot 12.5» (Systat Software, США) и графическом пакете программы «Origin 2018» (OriginLab, США).

Изотермы адсорбции Pb(II) бентонитом и его модификациями с участием амфотерных ПАВ (кокоиминодипропионата натрия и кокоамфодиацетата динатрия) в целом относятся к L-форме по классификации Джайлса (рис.). Вид полученных изотерм свидетельствует о том, что сорбирующая поверхность неоднородна и обладает несколькими типами сорбционных центров, отличающихся сродством к адсорбирующемуся катиону и величинами максимальных адсорбций. Форма изотерм при малых концентрациях (приближенность к оси ординат) указывает на то, что прочность связывания с сорбентом относительно велика. По

мере увеличения количества катионов происходит выполаживание кривой относительно оси абсцисс, то есть уменьшается количество адсорбированных катионов металла, связанных с адсорбентом. В начале процесса имеется избыток функциональных групп, доступных для связывания, при этом концентрация металла в растворе высокая. По мере приближения к равновесию металл занимает места в функциональных группах.



А)

Б)

Рисунок - Изотермы адсорбции Pb на бентоните (черный цвет) и на органоглинах, синтезированных с использованием амфотерных ПАВ: А- кокоиминодипропионата натрия, Б - кокоамфодиацетата динатрия. Сплошной чертой – изотерма Ленгмюра, прерывистой чертой – изотерма Фрейндлиха.

По величине максимальной адсорбции (C_{∞}) исследуемые сорбенты расположены в ряду: органоглина, кокоиминодипропионат натрия (136,8 мг/г) ~ органоглина, кокоамфодиацетат динатрия (135,6 мг/г) > исходный бентонит (103,3 мг/г). Параметр Кл, характеризующий прочность связи между ионом металла и функциональными центрами на сорбирующей поверхности, убывает в ряду: органоглина, кокоамфодиацетат динатрия > органоглина, кокоиминодипропионат натрия > бентонит.

Согласно уравнению Фрейндлиха, параметр K_f , являющийся мерой поглотительной способности, убывает в ряду: органоглина, кокоамфодиацетат динатрия > органоглина, кокоиминодипропионат натрия > исходный бентонит. Величина безразмерного параметра $1/n$ позволяет выявить энергетическую неоднородность реакционных центров на сорбирующей поверхности и может изменяться в интервале $0 < 1/n < 1$ или $= 1$. При величине $1/n$, приближающейся к 0, возрастает неоднородность сорбционных центров, к 1 – уменьшается. Указанный параметр для сорбентов не изменяется (0,33-0,34). Значения указывают на значительную неоднородность поверхности изученных сорбентов для катиона Pb^{2+} . Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что амфотерные ПАВ (кокоиминодипропионат натрия и кокоамфодиацетат динатрия) являются эффективными модификаторами бентонита в отношении увеличения им сорбционных свойств по отношению к Pb.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания по теме: “Иммобилизация тяжелых металлов продуктами взаимодействий слоистых силикатов с почвенным органическим веществом и микроорганизмами” (Соглашение № 073-00033-24-01 от 9.02.2024, заключенное с Минпросвещения России).

УДК 519.8632.95:631.432

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ СОРБЦИИ ИНСЕКТИЦИДА ЦИАНТРАНИЛИПРОЛА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Колупаева В.Н.

ФГБНУ ВНИИ фитопатологии, Большие Вяземы, Московская область, amulanya@gmail.com

Сорбция пестицидов в почве характеризуется коэффициентом распределения, который определяется как отношение концентрации в твердой и жидкой фазах. Имеются убедительные экспериментальные данные, показывающие, что коэффициент распределения увеличивается со временем пребывания пестицида в почве, это явление обычно называют старением остатков, сорбцией, зависимой от времени, кинетической или неравновесной сорбцией. Например, в статьях сообщалось об увеличении коэффициента распределения в 2,6-3,5 раза для инсектицида имидаклоприда и в 1,8-4,5 раза гербицида метабензтиазурона в течение 84-дневного инкубационного лабораторного эксперимента. В полевом исследовании восьми пестицидов в Бразилии наблюдали выраженное увеличение коэффициента распределения в 2,6-38 раз в глинистой почве и в 2,1-72 раза в песчаном почве в течение 80 дней.

В результате увеличения степени связывания пестицидов с почвой по мере роста длительности взаимодействия между ними снижается их биодоступность и способность к миграции. Если этот процесс не учитывается при моделировании поведения пестицидов, это может приводить к переоценке их миграции. Поэтому в настоящее время растет интерес к изучению и правильной количественной оценке зависящих от времени процессов сорбции в масштабах времени, которые важны для трансформации пестицидов в полевых условиях. Был предложен метод по изучению неравновесной сорбции пестицидов, основанный на сочетании лабораторного инкубационного исследования деградации с дополнительной 24-часовой стадией экстракции с использованием 0,01 М хлорида кальция, с определением общего количества пестицида в почве (путем экстракции органическим растворителем) и его концентрации в суспензии CaCl_2 . Целью нашей работы было изучить сорбцию инсектицида циантранилипрола в почве в лабораторном инкубационном эксперименте и рассчитать параметры неравновесной сорбции с помощью модели PEARLNEQ.

Сухая почва была обработана раствором инсектицида таким образом, чтобы уровень концентраций составил 0,33 мкг/г сухой почвы. Это соответствует рекомендованной норме применения действующего вещества при условии равномерного его распределения в верхнем 5-сантиметровом слое почвы и плотности 1,0 г/см³. Почву инкубировали при постоянной температуре 20°C в темноте в течение 360 дней при влажности, соответствующей 60% ППВ. Влажность почвы регулярно контролировали и регулировали путем добавления при необходимости дистиллированной воды. В дни пробоотбора (через 1, 7, 14, 30, 60 и 360 суток после внесения) инсектицид экстрагировали из почвы водным раствором и ацетонитрилом. Количественное определение содержания циантранилипрола проводили с использованием метода ВЭЖХ.

Для описания неравновесной сорбции в модели PEARLNEQ используется представление о том, что имеется два параллельных центра сорбции, в обоих взаимодействие пестицида с почвой происходит в жидкой фазе. Разделение вещества между жидкой и твердой фазами происходит мгновенно в равновесной области и зависит от времени в неравновесной области. Динамика разложения пестицида соответствует кинетике первого порядка в жидкой фазе и в равновесной области, причем считается, что скорости разложения равны. Концентрация в равновесной области твердой фазы определяется изотермой Фрейндлиха $K_f \text{fEQ}$. Константа первого порядка (k_{des}) характеризует скорость массообмена между жидкой фазой и неравновесной областью (то есть неравновесная сорбция подчиняется экспоненциальному закону), $K_f \text{fNE}$ характеризует сорбцию в неравновесной области, а коэффициент f_{NE} – соотношение между коэффициентом Фрейндлиха в неравновесной и равновесной областях.

При определении параметров, характеризующих неравновесную сорбцию, в программном обеспечении PEARLNEQ v.5 используется алгоритм Гаусса – Левенберга – Марквардта для оптимизации значений параметров таким образом, чтобы взвешенная сумма квадратов отклонений между рассчитанными значениями P_i и экспериментальными наблюдениями O_i сводилась к минимуму.

В качестве входных параметров к модели вводятся начальное содержание пестицида в почве (MASini) и его концентрация в суспензии по срокам пробоотбора, а также начальные значения оптимизируемых параметров (k_{des} , fNE , DT50 – период полураспада, $KomEQ$ – равновесная константа сорбции, нормированная на содержание органического вещества).

Визуальная оценка соответствия расчетных значений экспериментальным наблюдениям показала, что используемая кинетическая модель сорбции адекватно описывает полученные данные. Относительная стандартная ошибка RSE (%) была предложена в качестве показателя надежности оценочных значений параметров

Все значения RSE были значительно ниже 30% по всем параметрам, кроме k_{des} . Такую точность можно считать приемлемой в соответствии с критериями, предложенными в руководстве Европейской Комиссии по безопасности продуктов питания (EFSA) (RSE <40%). Соотношение между равновесным и неравновесным коэффициентами Фрейндлиха fNE составило около 1,76. Это свидетельствует о том, что неравновесная сорбция преобладает. Самая большая неопределенность наблюдается при оценке параметра скорости массообмена между жидкой фазой и неравновесной областью k_{des} (34,7%), а его значение составило 0,058 сут⁻¹.

Применение экспериментального протокола позволило получить согласованные временные ряды измерений общего количества циантранилипрола в почвенном образце и его концентрации в равновесной области, определяемой в суспензии CaCl₂. В результате последующей подгонки этих значений с помощью модели с двумя центрами сорбции, реализованной в программном пакете PEARLNEQ v.5, получены значения fNE , k_{des} , DT50, MASini и $KomEQ$, которые отвечают всем установленным критериям соответствия и надежности параметров. Конечная цель стандартизированных лабораторных экспериментов по изучению зависящей от времени сорбции – это применение этой концепции сорбции с надежными входными параметрами при моделировании миграции пестицидов в грунтовые воды.

УДК 631.445.25

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОРРЕКТИРОВКИ ПОЧВЕННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗАКУСТАРЕННЫХ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ИХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Копысов И.Я., Тюлькин А.В., Тюлькина А.В.

Вятский ГАТУ, Киров, kopysov1942@mail.ru

Значительное количество не используемых в аграрном производстве земель сельскохозяйственного назначения практически отмечается во всех субъектах РФ. В условиях Кировской области в настоящее время не обрабатывается 37 % бывшей пашни. Заращение кустарником, сорной растительностью на фоне деградации почв – основной признак неудовлетворительного землепользования. В этой связи одной из актуальных проблем в нашей стране является рекультивация разновозрастной залежи. Для решения данной проблемы нами проведена корректировка крупномасштабного почвенного обследования (М 1: 10000) всех закустаренных залежных земель Лебяжского района Кировской области на площади 20 тыс. га. При исследовании решались следующие задачи:

1. Проанализировать степень деградации почв за полвека;
2. Разработать агроэкологическую типизацию закустаренных залежных земель для их сельскохозяйственного использования;

3. Разработать технологию для проведения культуртехнической мелиорации на объектах исследований.

Почвенное и геоботаническое обследования выявили, что преобладающими почвами в Лебяжском районе являются светло – серые лесные оподзоленные и дерново – подзолистые среднесуглинистые на покровных суглинках с низким содержанием гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, а степень деградации при их сельскохозяйственном использовании за 50 лет (1971 – 2023 г.г.) составила от слабой (1 – 3 балла) до сильной (7 – 8 баллов), особенно у смытых почв. Надпочвенный покров представляет из себя разнотравие с преобладанием злаковых, а из кустарника – береза, сосна с преобладанием по высоте до 3 м, а по густоте покрытия 5 – 7 % и с диаметром ствола 3 см. Для рационального сельскохозяйственного использования всю обследованную площадь разделили на пять агроэкологических типов земель. В качестве критериев при их выделении принимали ведущие агроэкологические факторы: эрозия, влагообеспеченность, переувлажнение, окультуренность (балл бонитета почв), оподзоленность, рельеф. В первую агроэкологическую группу включены наиболее плодородные серые лесные и дерново – карбонатные почвы с бальной оценкой 71 – 85. Эту группу земель целесообразнее использовать под интенсивные полевые, прифермские и кормовые севообороты. Во вторую группу включены светло – серые лесные оподзоленные и дерново – слабоподзолистые почвы с бальной оценкой 58 – 61. Этот агроэкологический тип земель целесообразно использовать под полевые севообороты, включая в них сидеральные пары и два поля многолетних трав. В третью группу включены наиболее бедные по плодородию дерново – среднеподзолистые почвы с баллами бонитета 51 – 55. Этот тип земель необходимо использовать под биологизированные севообороты с более короткой ротацией и с сидеральными парами и двумя полями многолетних трав. В четвертую группу включены все слабосмытые почвы с баллами бонитета 43 – 49. Их необходимо использовать под почвозащитные севообороты с широким применением организационно – хозяйственных и агротехнических противозерозионных мероприятий. В пятую агроэкологическую группу включены все периодически переувлажненные глееватые почвы с баллами бонитета 50 – 55. Без предварительного осушения этот тип земель целесообразнее использовать под кормовые севообороты, а отдельные удаленные от ферм участки использовать как выводные поля с выращиванием на них влаголюбивых культур. При обработке данных земель широко применять агромелиоративные мероприятия, ускоряющие поверхностный и внутрипочвенный сток воды.

При первичной обработке закустаренной залежи целесообразнее проводить запашку кустарника. Запашка кустарника значительно дешевле срезки и его корчевки. Глубина запашки зависит от высоты кустарника и мощности гумусового слоя. Мощность бывшего пахотного слоя в Лебяжском районе колеблется от 27 до 33 см. Кустарник высотой до 1 м рекомендуется запахивать на глубину не менее 20 см, высотой 1.5 – 2.0 м – на глубину 20 – 25 см, высотой 2.5 – 3.0 м – на глубину 25 – 27 см. Перед запашкой кустарника и плотной дернины их разделяют в два следа тяжелыми дисковыми боронами с остро заточенными дисками. Для лучшей разделки надземной и подземной частей кустарника вместо дискования можно применять фрезерование. После разделки кустарника и дернины вносят рекомендуемые дозы органических и минеральных удобрений и только тогда запахивают измельченный кустарник и разделанную дернину. Запашку кустарника целесообразно проводить летом и ранней осенью. Внедрение технологии рекультивации закустаренных залежных земель позволяет увеличивать посевные площади и более эффективно использовать земли сельскохозяйственного назначения.

Таким образом, накопление органического вещества и минерального питания, снижение кислотности путем известкования и фосфоритования, проведение культуртехнических и агромелиоративных мероприятий, внедрение биологизированных систем земледелия – вот

перечень основных направлений, необходимых для возврата залежных земель в высокопродуктивную пашню.

УДК 631.4

ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ МКАД

Ладонин Д. В.^{1,2}, Моргослепова Е. В.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: ladonin@inbox.ru,

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва

На территории Российской Федерации одним из основных источников загрязнения окружающей среды крупных городов является автомобильный транспорт. В России ухудшение состояния окружающей среды в постиндустриальный период развития общества, связанное с автотранспортом выражено гораздо сильнее, чем в других развитых странах, поскольку этот процесс происходит в условиях отставания экологических показателей российских автомобилей, топлива, а также отставания в развитии и техническом состоянии улично-дорожной сети.

Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с выхлопными газами, выявлено 15 тяжелых металлов (ТМ). Выхлопные газы двигателей содержат мышьяк, кадмий, хром, медь, ртуть, никель, свинец, цинк. Применение шипованных шин влечет за собой повышенный износ асфальтового покрытия автомобильных дорог, что увеличивает количество взвешенной в воздухе и осевшей на ее поверхности пыли, содержащей тяжелые металлы. При истирании тормозных колодок в воздух попадают медь, барий и сурьма. При износе покрышек, в том числе шипованных – кадмий, цинк, вольфрам. Элементы дорожной инфраструктуры – ограждения, фонарные столбы и т. д., изготовлены из оцинкованного металла, цинк с поверхности которых вследствие окисления и деятельности уборочной техники также переходит в состав дорожной пыли.

Начиная с 90-х годов XX века уличная пыль привлекает внимание ученых. В настоящее время получены данные о содержании целого ряда различных элементов в уличной пыли городов, что позволяет оценить загрязнение окружающей среды ТМ. Но содержание форм соединений ТМ почти не изучено, что не позволяет сделать выводы о подвижности металлов в составе уличной пыли и о вкладе техногенной составляющей в общее содержание металлов, чем обуславливается актуальность нашей работы.

Цель работы - изучить содержание различных форм тяжелых металлов в дорожной пыли, отобранной на обочинах Московской кольцевой автомобильной дороге (МКАД). МКАД, имеющая протяженность 109 км и расчетную пропускную способность 9000 автомобилей в час, является одной из наиболее загруженных автодорог на территории Москвы. Объекты исследования: 22 пробы дорожной пыли, отобранные на обочине МКАД через каждые 5 км.

Дорожная пыль, образующаяся на МКАД, в результате работы уборочной техники формирует на обочинах валы высотой до 30 см и шириной более полуметра, на которых начинают идти почвообразовательные процессы и растет травянистая растительность. Методы исследования: определение валового содержания ТМ после микроволнового разложения «царской водкой» методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС); определение кислоторастворимых форм ТМ в 1 н. азотнокислой вытяжке методом ИСП-МС; содержание подвижных форм ТМ в ацетатно-аммонийной вытяжке с рН 4,8 методом ИСП-МС.

Объекты исследования: 22 пробы уличной пыли, отобранные на обочине наружной части МКАД через каждые 5 км.

Методы исследования: определение валового содержания ТМ после микроволнового разложения «царской водкой» методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС); определение кислоторастворимых форм ТМ в 1 н. азотнокислой

вытяжке методом ИСП-МС; содержание подвижных форм ТМ в ацетатно-аммонийной вытяжке с рН 4,8 методом ИСП-МС.

Изучение валового содержания ТМ в пыли показало, что существует пространственная неоднородность в его распределении. Максимальная величина суммарного показателя загрязнения Z_c (38) соответствует северо-восточному участку МКАД (92 км), а минимальная (15) – юго-западному (42 км). В целом, загрязнение дорожной пыли, оцениваемое по Z_c , можно охарактеризовать, как среднее ($16 < Z_c < 32$). Возможно, это связано с тем, что в качестве фоновых значений для расчета Z_c были использованы усредненные данные по почвам (World Average Soil, Kabata-Pendias, 2011).

Для оценки вклада техногенной составляющей в общее содержание ТМ в почве используют экстракционный критерий, представляющий собой отношение содержания ТМ в азотнокислых вытяжках, выраженное в процентах к их валовому содержанию. По классификации Н. Г. Зырина и С. Г. Малахова (1981), почвы с незначительной долей техногенных соединений ТМ содержат до 5% кислоторастворимых форм слабозагрязненные (с небольшой долей техногенных соединений ТМ) – от 5% до 20%, среднезагрязненные (со средней долей техногенных форм ТМ) – 20-50%, сильнозагрязненные (с высокой долей техногенных соединений ТМ) – более 50% кислоторастворимых форм ТМ. Использование данного подхода позволяет обходиться без незагрязненного аналога исследуемых объектов, что весьма актуально при изучении дорожной пыли.

Анализ полученных данных показывает, что цинк, стронций, свинец, кадмий, медь, барий, уран, марганец, хром имеют высокую долю техногенных соединений; кобальт, никель, таллий – среднюю долю техногенных соединений; железо, мышьяк, молибден, сурьма, ванадий, серебро, торий, селен – небольшую долю техногенных соединений от валового содержания.

С помощью методов математической статистики, а именно расчета верхнего и нижнего квартилей, были выявлены самые участки МКАД с наибольшей долей техногенных соединений ТМ в дорожной пыли. Это 92-107 км. В этом месте находится Национальный парк «Лосиный остров». Повышенное содержание кислоторастворимых форм ТМ на данной территории может быть связано с быстрым потоком автотранспорта, так как именно на этом участке МКАД отсутствуют развязки и, следовательно, здесь наименьшее количество пробок, а средняя скорость движения автотранспорта максимальна, что усиливает износ дорожного покрытия и шин автомобилей.

Содержание подвижных форм ТМ – один из важнейших показателей при изучении загрязненности почв. Наиболее активными агентами загрязнения являются именно подвижные формы, которые способны переходить из твердых фаз в почвенные растворы и поглощаться растениями. Этот показатель характеризует потенциальную опасность накопления данных элементов в среде и вероятность включения их в трофические цепи.

По содержанию подвижных форм в дорожной пыли МКАД и их доле от валового содержания исследованные ТМ составляют следующий ряд: Cr ($\approx 100\%$) > Sr ($\approx 100\%$) > Cd ($\approx 100\%$) > Ba ($\approx 100\%$) > Zn ($\approx 100\%$) > Mn ($\approx 100\%$) > Pb (79%) > Cu (64%) > U (62%) > Co (35%) > Ni (21%) > Se (17%) > Tl (16%) > Sb (14%) > Fe (6%) > Th (4%) > Mo (4%) > As (3%) > V (2%) > Ag (2%).

По сравнению с ПДК подвижных форм ТМ в почвах наблюдается среднее превышение содержания подвижного марганца в 3,3 раза, подвижной меди в 20,7 раз, подвижного никеля в 1,3 раза, подвижного свинца в 3,2 раза, подвижного хрома в 52,2 раза, подвижного цинка в 62,4 раза. Превышений нет только у подвижного кобальта.

Максимальное количество подвижных форм ТМ в дорожной пыли наблюдается на 2, 7, 72 и 77 километрах. На 77 километре находится Бусиновская эстакада, где МКАД пересекается с автомагистралью М-11 (скоростная трасса между Москвой и Санкт-Петербургом) и Московским скоростным диаметром (МСД). Повышенное содержание подвижных форм ТМ на данном участке объясняется большим трафиком по сравнению с другими точками

пробоотбора. В районе 2 км находится наиболее загруженный участок МКАД, где интенсивность движения автомобилей максимальна, что обуславливает высокое содержание подвижных форм ТМ.

Таким образом, изучение форм соединений ТМ в дорожной пыли МКАД выявило достаточно высокий уровень техногенного воздействия на придорожную территорию, позволило установить химические элементы, в наибольшей степени загрязняющие окружающую среду, а также участки МКАД с максимальным и минимальным уровнем этого воздействия.

УДК 550.42

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ МЕДИ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ТЕРРИКОНОВ УГОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Лацынник Е.С., Игнатова С.А., Бауэр Т.В., Барахов А.В., Бурачевская М.В.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: lacynnik@sfedu.ru

Районы угледобычи подвержены мощным антропогенным преобразованиям, которые оказывают существенное влияние на трансформацию экосистемы. Шахтные углеотвалы или терриконы формируют насыпные антропогенные элементы рельефа, тем самым способствуют кардинальному изменению почвенного покрова, прилегающего к углеотвалам. Тяжелые металлы (ТМ) относятся к приоритетным загрязняющим веществам, так как отвалы угольных шахт могут содержать избыточное количество токсичных металлов. В западной части юга России располагается добывающая топливно-энергетическая отрасль, приуроченная к крупнейшему каменноугольному бассейну – Восточному Донбассу. В данной работе изучен фракционный состав Cu и Pb в почвах территории породного отвала угольной шахты им. В.И. Ленина, расположенного в северо-западной части Ростовской области (г. Новошахтинск).

Объектом исследования являются техногенно-трансформированные почвы мониторинговых площадок, расположенные вокруг и непосредственно на территории углеотвала (площадки Л1-Л9). В качестве фоновой содержания ТМ в почвах выбраны данные, установленные для чернозема обыкновенного карбонатного целинного участка ООПТ «Персиановская заповедная степь». В отобранных образцах почв (слой 0-20 см) определены физико-химические свойства общепринятыми методами. Состояние Cu и Pb оценивали с использованием трех схем последовательных экстракций по модифицированной схеме BCR, а также определяли валовое содержание тяжелых металлов рентгенфлуоресцентным методом (XRF) с использованием спектроскана «МАКС-GV».

Установлено, что большая часть образцов почв, отобранных с площадок мониторинга изучаемого углеотвала, имеют относительно легкий гранулометрический состав: среднее содержание физической глины в поверхностном горизонте почв составляет 32,1% (11,2-52,0%). Средние значения pH образцов почв территории углеотвала имеют нейтральную реакцию среды - 7,18 (5,79-7,86). Содержание карбонатов варьирует в зависимости от площадки мониторинга от 0,0% до 2,55%, в среднем составляя 0,45%. Сумма обменных оснований ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$) для исследуемых площадок мониторинга в среднем составляет 30,96 смоль(экв)/кг, варьируя от 13,38 до 55,18 смоль(экв)/кг. Среднее валовое содержание тяжелых металлов в почвах террикона составляет: Cu (101,0 мг/кг) и Pb (82,5 мг/кг), и определяется составом материала породного отвала, сформировавшего террикон. По содержанию Pb ($CV=36\%$) почвы исследуемой территории характеризуются высокой изменчивостью ($CV>33\%$).

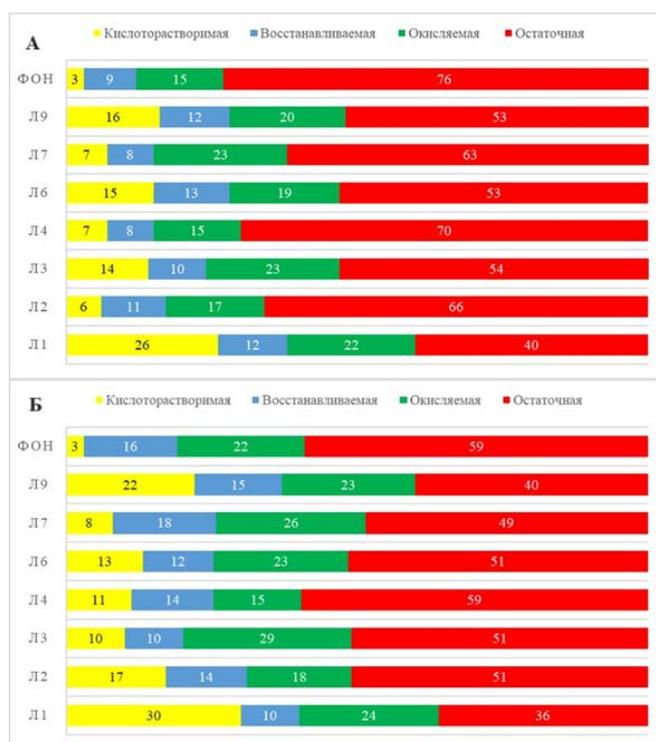


Рисунок 1 – Результаты фракционного состава соединений Cu (А) и Pb (Б) в исследуемых почвах углеотвала им. Ленина, % от суммы фракций

В незагрязненном черноземе обыкновенном ООПТ «Персиановская степь» (фон) отмечается явное доминирование Pb и Cu в остаточной фракции (59 и 76% от суммы фракций) (рис. 1).

Соединения Cu и Pb ассоциируются с различными фракциями следующим образом: остаточная фракция > окисляемая > восстанавливаемая > кислоторастворимая. В почвах углеотвала, с ростом общей концентрации металла, отмечается тенденция к уменьшению доли остаточной фракции (с 76% до 40% для Cu и с 59% до 36% для Pb). Доля кислоторастворимой фракции увеличивается с 3% на незагрязненной почве до 26% для Cu и 30% для Pb на загрязненной площадке Л1 (рис. 1). Это приводит к изменению в распределении фракционного состава металла: остаточная > кислоторастворимая > окисляемая > восстанавливаемая фракция. Практически во всех случаях подвижность Cu выше, чем Pb (рис. 1).

Таким образом, установлено, что в техногенно-трансформированных почвах фракционный состав соединений металлов отличается от фоновых почв: доля остаточной фракции уменьшается и возрастает доля наиболее подвижных фракций. Основным фактором в распределении Cu между почвенными компонентами является взаимодействие с органическим веществом, Pb – с органическим веществом и оксидами Fe-Mn.

Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

УДК 504.53.062.4

ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА НА СОДЕРЖАНИЕ НЕПРОЧНО СВЯЗАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

Манджиева С.С., Минкина Т.М., Барахов А.В., Бауэр Т.В., Лацынник Е.С., Микаелян А.А., Игнатова С.А., Мелкумян А.Л.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: msaglara@mail.ru

Эффективность восстановления почв, загрязненных тяжелыми металлами, зависит от ряда взаимосвязанных природных и антропогенных факторов. Как правило, исследования,

посвященные ремедиации почв, направлены на изучение факторов, влияющих прочную фиксацию загрязняющих веществ в почве. Одним из таких факторов является внесение углеродистых сорбентов. Благодаря большой удельной поверхности, микропористости и ионообменной способности, биочар может использоваться для снижения подвижности тяжелых металлов в загрязненных почвах. Подвижность тяжелых металлов в почвах характеризуется содержанием группы непрочно связанных соединений, включающих обменные, комплексные и непрочно связанные соединения тяжелых металлов. Непрочно связанные соединения тяжелых металлов представляют наиболее важную с экологической точки зрения группу металлов, поскольку прежде всего поступают в растения и мигрируют в другие сопредельные среды.

Цель данной работы состояла в изучении влияния биочара на содержание непрочно связанных соединений Cu, Zn и Pb в загрязненной почве.

Для достижения поставленной цели проведен модельный опыт с хемоземом (содержание физ.глины 37%; ила 16%; $C_{орг.}$ 1,7; $CaCO_3$ 0,3%; pH 7,4), отобраным на территории высохшего озера, служащего долгие годы шламонакопителем выбросов химического комбината. В качестве контроля отобрана аллювиальная луговая почва (содержание физ. глины 31%; ила 16%; $C_{орг.}$ 1,9; $CaCO_3$ 0,1%; pH 7,5), расположенная на удалении 1.5 км от площадки с хемоземом. К образцам почвы (400 г) добавлен биочар, полученный путем сопирилиза осадка сточных вод, шелухи риса и пшеницы, в дозе 2% от массы почвы. В течение одного месяца инкубации почву поливали дистиллированной водой до полной полевой влагоемкости.

В образцах почвы изучено валовое содержание Zn, Cu, Pb рентген-флюоресцентным методом на спектрокане "МАКС-GV" (ООО «НПО «СПЕКТРОН», Россия). Для определения суммы непрочно связанных соединений использован метод параллельных экстракций, которые характеризуют комплексное состояние подвижных соединений тяжелых металлов в почве: 1) 1 н. аммонийно-ацетатный буфер (CH_3COONH_4) – ААБ, pH 4,8, характеризующий содержание обменных соединений; 2) 1% раствор ЭДТА в ААБ, pH 4,8, позволяющий дополнительно с обменными формами извлекать элементы из почвенных комплексов, при этом в раствор переходят металлы, слабо связанные с органическим веществом. По разнице между содержанием металлов в вытяжках ЭДТА в ААБ и ААБ можно рассчитать количество комплексных соединений. 3) 1н. HCl извлекает тяжелые металлы, входящие в состав аморфных соединений и карбонатов, что характеризует потенциальный запас подвижных соединений металлов в почве - кислоторастворимые соединения, включающие обменные и специфически сорбированные. По разнице между количествами, извлекаемыми вытяжками 1н HCl и ААБ, определяли содержание специфически сорбированных соединений металлов. Статистическая обработка полученных результатов выполнена при помощи программы STATISTICA 8.

Валовое содержание тяжелых металлов в почве контрольного варианта соответствует фоновому уровню для почв Ростовской области, мг/кг: Cu $48 \pm 1,4$; Zn $67 \pm 2,5$; Pb $26 \pm 0,9$. В почве озера Атаманское отмечается превышение Cu в 5 раз по сравнению с незагрязненной аллювиальной луговой почвой, Zn в 10 раз, Pb в 8 раз, мг/кг: Cu 233 ± 7 ; Zn 697 ± 21 ; Pb $203 \pm 6,5$. Валовое содержание Pb в загрязненной почве превышает ОДК (СанПиН 1.2.3685-21) в 1,5 раза, Cu – в 2 раза, Zn – в 3 раза. При внесении сорбентов изменение валового содержания металлов не наблюдается.

В незагрязненной аллювиальной луговой почве наблюдается низкое содержание непрочно связанных соединений, % от валового содержания: Cu 12; Zn 13; Pb 13. Наибольшую долю в группе непрочно связанных соединений занимают специфически сорбированные (Cu 56; Zn 73; Pb 61 % от суммы непрочно связанных соединений), наименьшую – обменные (Cu 11; Zn 15; Pb 13 % от суммы непрочно связанных соединений).

В загрязненной почве установлено превышение ПДК (СанПиН 1.2.3685-21) подвижных форм Cu в 8 раз, Zn и Pb в 6 раз, мг/кг: 24, 131, 33, соответственно. Содержание непрочно

связанных соединений металлов варьирует, % от валового содержания: Zn (70) > Pb (63) > Cu (42). В загрязненной почве наблюдается изменение группового состава непрочно связанных соединений металлов: увеличивается содержание наиболее подвижных обменных соединений (Cu и Pb на 13; Zn на 12 %) и уменьшается доля специфически сорбированных (Cu на 20; Zn на 19; Pb на 17%), что демонстрирует увеличение экологической опасности загрязненных почв.

Внесение в загрязненную почву биочара приводит к уменьшению концентрации непрочно связанных соединений металлов в 2 раза, % от валового содержания: Zn (41) > Pb (32) > Cu (26). В присутствии биочара существенно снижалась концентрация обменных форм Cu (в 2 раза), Pb (в 3 раза) и Zn (в 2 раза) за счет механизмов сорбции: катионный обмен, осадкообразование, комплексообразование, химическое восстановление и электростатическое взаимодействие. При внесении сорбентов наблюдается изменение в групповом составе непрочно связанных соединений тяжелых металлов: увеличивается доля специфически сорбированных соединений (Cu на 11; Zn на 8; Pb на 2%) при уменьшении обменных (Cu на 5; Zn на 6; Pb на 4%) и комплексных (Cu на 6; Zn на 2). Следует отметить увеличение доли комплексных соединений Pb на 2% при внесении биочара. Поверхностное комплексообразование с функциональными группами – это один из основных механизмов фиксации металлов биочаром.

Таким образом установлена эффективность внесения биочара в загрязненную Cu, Zn и Pb почву для снижения подвижности в ней тяжелых металлов.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение №075-15-2022-1122, и при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

УДК 631.452

СОДЕРЖАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВНЕСЕНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ЧЕРНОЗЕМ ТИПИЧНЫЙ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Мелентьева О.А.¹, Габбасова И.М.¹, Гарипов Т.Т.¹, Хабиров И.К.²

¹Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, gimib@mail.ru;

²Опытное поле УФИЦ РАН, Уфимский район Республики Башкортостан, gimib@mail.ru

Одними из постоянно увеличивающихся в объемах отходов мегаполисов являются осадки сточных вод (ОСВ). В РФ ежегодно накапливается в пересчете на сухое вещество более 2 млн. т этих отходов, которые нуждаются в утилизации. После соответствующей обработки и обеззараживания они могут служить источником питательных веществ, а их эффективность в качестве удобрения сопоставима с навозом. Но при применении ОСВ необходим контроль за содержанием токсичных элементов, которое зависит от технологии обработки, сезона, климатической зоны и даже конкретного города. Исследования проводили на черноземе типичном, были заложены 3 пробные площадки с внесением ОСВ в дозе 30 т/га и одна площадка – в качестве контроля. Почва опыта характеризовалась высоким потенциальным плодородием: высоким содержанием гумуса, близкой к нейтральной реакцией среды, высокой емкостью катионного обмена с преобладанием кальция. Внесение ОСВ способствовало повышению содержания минерального азота в среднем в два раза, подвижных форм фосфора и калия – до «очень высокой» степени обеспеченности. В целях исключения опасности загрязнения почв, продукции и окружающей среды тяжелыми металлами наиболее важной задачей явилось изучение ее соответствия санитарно-гигиеническим нормативам. По результатам анализа в ОСВ содержание свинца, кадмия, хрома, меди, никеля, ртути, цинка, марганца, кобальта, железа, как в валовой, так и в

подвижной форме, в большинстве случаев не превышало установленных ПДК и ОДК. Валовое содержание никеля во всех исследованных образцах приближалось к ОДК (60-76 мг/кг при ОДК, равным 80 мг/кг для почв с рН выше 5,5). Только количество подвижного хрома превышало ПДК (25-28 мг/кг), но достоверно не отличалось от его содержания в фоновой почве (17-24 мг/кг), что не позволяет точно определить причину накопления хрома и никеля в почве. В связи с тем, что имелась вероятность суммарного негативного воздействия загрязняющих элементов на свойства почвы, был рассчитан суммарный химический показатель по формуле Саета (Zс). В слое 0-5 см и 5-20 см он составил соответственно 3,5 и 1,8, что входит в категорию «допустимая» (Zс от 1 до 8). Содержание нитратов в ОСВ составило 3-26 мг/кг, в почве на пробных площадках – 14-59 мг/кг, что существенно ниже ПДК (130 мг/кг). Среди токсичных веществ в ОСВ были определены: бенз(а)пирен (0,005 мг/кг при ПДК 0,02 мг/кг), бор (1,68 мг/кг при его среднем содержании в черноземных почвах 4-12 мг/кг), стронций (147,97 мг/кг при его среднем содержании в почвах 350 мг/кг), сурьма (0,54 мг/кг при ПДК 4,5 мг/кг). Эти результаты свидетельствуют об отсутствии загрязнения этими токсичными веществами. Микробиологические и паразитологические исследования показали, что в ОСВ бактерии группы кишечной палочки и энтерококки находились на допустимом уровне, а патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, цисты патогенных кишечных простейших и яйца гельминтов не были обнаружены. Данные биотестирования ОСВ с тест-объектами дафниями *Daphnia m.* (низшие ракообразные), *Chlorella Vulgaris beijer* и *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb. (зелёные водоросли), показали их принадлежность к IV классу опасности отходов (малоопасные отходы), которые характеризуются низкой степенью вредного воздействия на окружающую среду. Таким образом, не произошло загрязнение почвенного покрова солями тяжелых металлов (свинца, кадмия, меди, ртути, цинка, стронция, сурьмы, марганца, кобальта, железа) нитратами, токсичными элементами (бенз(а)пиреном, бором,) и патогенными микроорганизмами (бактериями группы кишечной палочки, энтерококками, сальмонеллой, цистами патогенных кишечных простейших и яйцами гельминтов). Внесение ОСВ способствовало значительному улучшению агрохимических показателей чернозема типичного в условиях Южного Предуралья.

УДК 631.41; 54.01

ДИАГНОСТИКА СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ХИМИЧЕСКОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ И НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Минкина Т.М.¹, Пинский Д.Л.², Бауэр Т.В.¹, Невидомская Д.Г.¹, Манджиева С.С.¹, Цицуашвили В.С.¹, Бурачевская М. В.¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: tminkina@mail.ru,

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино

Трансформация техногенных соединений тяжелых металлов (ТМ) в почвах импактных зон сильно ускорена из-за термодинамических дисбалансов, возникающих при осуществлении процессов окисления, карбонизации, осаждения вторичных минералов и других факторов. В связи с этим, важно иметь представления о том, как в процессе техногенного почвообразования происходила трансформация соединений металлов в зависимости от почвообразующих условий, свойств почв и особенностей загрязнения. Изучена трансформации техногенных соединений Cu и Zn в техногенно преобразованных почвах - хемоземе (Spolic Technosols) с очень высокими концентрациями металлов, сформированных на месте природного отстойника промышленных предприятий в пойме реки Северский Донец – главного притока реки Дон (Ростовская область, Россия). Состояние Zn и Cu в хемоземе изучено с использованием методов последовательных селективных экстракций и рентгеновского синхротронного излучения. Показано, что распределение металлов в почве в

значительной степени связано с их свойствами: электроотрицательностью, гидролизуемостью и параметром мягкости. Установлено, что Cu концентрируется, в основном, в остаточной фракции (> 62%) и во фракции, связанной с органическим веществом (< 27%). Подвижность Zn в исследуемых почвах выше, чем Cu. Основная его часть (< 56%) находится в остаточной и связанной с Fe и Mn оксидами фракциях (< 48%), особенно с кристаллическими формами Fe (III).

Впервые проведено комбинированное использование трехступенчатой схемы BCR в сочетании с синхротронными методами структурного анализа спектров (XAFS) и рентгеновской порошковой дифракции (XRD), для идентификации фаз, удерживающих металлы в хемоземах, после каждой стадии последовательного экстрагирования с использованием схемы BCR. Экспериментальные данные расширенной дальней тонкой структуры рентгеновского поглощения EXAFS и ближней тонкой структуры рентгеновских спектров вблизи краев поглощения XANES (K-край Zn и Cu – 9659 эВ) были получены на станции «Структурное материаловедение», расположенной на канале 1.3б Курчатовского центра синхротронного излучения НИЦ «Курчатовский институт». Анализ рентгеновской дифракции XRD проводился на станции рентгеноструктурного анализа «Белок / XSA». Длина волны монохроматического излучения составляла 0,8 Å (энергия фотона 15498 эВ). Образец помещался в криопетлю размером 300 мкм. Дифрактограммы регистрировались детектором 2D Rayonix SX165.

Показано, что гидроморфные условия и техногенный характер почвообразования способствуют проявлению сидерофильности Cu и Zn. Применение линейной комбинации спектров XANES и EXAFS после каждой стадии последовательного экстрагирования Zn и Cu в сильно загрязненных хемоземах значительно улучшило идентификацию видообразования металлов. Значительная разница в положении края поглощения и величин основных особенностей спектра в образцах с Cu–S и Cu–O связями позволяет надежно различать эти типы окружения Cu в образцах выделенных фракций. Наиболее сильные различия в интенсивности отдельных максимумов были обнаружены при сопоставлении дифрактограмм образца почвы после методами XANES и EXAFS установлена возможность гетеровалентного изоморфного замещения ионов Al^{3+} в октаэдрических позициях глинистых минералов катионами Cu^{2+} и Zn^{2+} .

Большая часть пиков, присутствующих на дифрактограммах образцов почвы после первой и второй стадий экстрагирования, соответствуют аутигенным серосодержащим минералам: вюртциту (ZnS с гексагональной структурой), сфалериту (кубический ZnS), ковеллину (CuS), борниту (Cu_5FeS_4). Образец почвы после извлечения окисляемой фракции наиболее насыщен сульфидами, в то время в образце почве после восстанавливаемой фракции доминируют филлосиликаты.

Таким образом, отличительной особенностью формирования форм соединений металлов в почвах исследуемой территории является повышенное содержание поллютантов во фракции кристаллических оксидов Fe по сравнению с аморфными и доминирование остаточной фракции, что свидетельствует о давности и высоком уровне загрязнения. Результаты анализа спектроскопии рентгеновского поглощения выявили для высоко загрязненных почв молекулярно-структурные изменения Zn и Cu, показывающие трансформацию металла в различной природной обстановке, что важно для оценки протекторной функции почв.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122.

УДК 631.41

РОЛЬ ЦИНКА В СНИЖЕНИИ ТОКСИЧНОСТИ МЕДИ ДЛЯ РАСТЕНИЙ В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ

Неаман А.А.¹, Жихарев А.П.², Дубровина Т.А.², Довлетярова Э.А.²

¹Университет Тарапака, Арика, Чили, e-mail: alexander.neaman@gmail.com

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Работа посвящена проблеме антагонизма металлов при полиэлементном загрязнении почв выбросами промышленных предприятий. Обсуждается, что известный эффект снижения цинком токсичности меди в водных экосистемах может быть распространен на почву. Описаны результаты нескольких исследований, в которых доказано снижение цинком токсичности меди для растений в почвах, загрязненных выбросами медной горнодобывающей промышленности. Рассмотрены механизмы взаимодействия металлов в почвах (модель наземного биотического лиганда, концепция интенсивности / емкости / количества). Обсуждены перспективы дальнейших исследований снижения токсичности меди в техногенно загрязненных почвах.

Таблица 1. Регрессионные зависимости ростовых откликов растений от содержания меди и цинка в почве

Предиктор	Уравнение регрессии	R^2	p
Салат, длина побега			
Валовая Cu	10.80 – 0.004 Cu	0.20	0.019
Валовый Zn	Статистически незначимо	–	–
Валовые Cu и Zn	8.00 – 0.005 Cu ($p=0.001$) + 0.021 Zn ($p=0.003$)	0.45	0.001
Cu/Zn	11.44 – 0.810 Cu/Zn	0.38	0.001
Овес, длина побега			
Валовая Cu	10.94 – 0.005 Cu	0.28	0.015
Валовый Zn	Статистически незначимо	–	–
Валовые Cu и Zn	8.27 – 0.006 Cu ($p=0.002$) + 0.020 Zn ($p=0.013$)	0.49	0.002
Cu/Zn	11.37 – 0.822 Cu/Zn	0.39	0.003
Овес, сухая масса побега			
Валовая Cu	Статистически незначимо	–	–
Валовый Zn	Статистически незначимо	–	–
Валовые Cu и Zn	0.13 – 0.0001 Cu ($p=0.032$) + 0.0006 Zn ($p=0.060$)	0.30	0.043
Cu/Zn	0.22 – 0.022 Cu/Zn	0.23	0.028

Примечание. Указан коэффициент детерминации (R^2) и уровень значимости (p).

УДК 631.415.1

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПУЛА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Погожев П.Е.

Факультет почвоведения, МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва pogozhev Pavel@mail.ru

Пахотные почвы – это экосистемы, постоянно подвергающиеся антропогенному воздействию посредством интенсивных агротехнической и агрохимической обработок. В связи с этим представляет интерес анализ антропогенного вклада тяжёлых металлов (ТМ) в геохимический фон пахотных почв, что можно выявить на основе сравнения содержания валовых форм ТМ в породе и пахотном слое. Превышение общих допустимых концентраций (ОДК) над фоном в породе и пахотном горизонте позволяет оценить антропогенный вклад в накопление тяжёлых металлов в агроценозах.

Целью работы было выявить закономерности распределения валовых форм ТМ в пахотном горизонте агрочернозема по сравнению с породой и провести санитарно-гигиеническую оценку уровней накопления ТМ в исследованном агрочерноземе по показателям ОДК и Zс.

Объектом исследования служил пахотный чернозем типичный (агрочернозём глинисто-иллювиальный) агроценоза картофеля в центральной части Тульской области (ореол чернобыльских выпадений). Образцы почвы были отобраны в конце сентября 2022 года из генетических горизонтов профиля послойно с шагом 10 см. Анализ содержания ТМ проводили масс-спектрометрическим методом на приборе PlasmaQuant MS Elite после сжигания образцов в микроволновой печи.

Пахотный горизонт агрочернозема глинисто-иллювиального в агроценозе картофеля (Плавский район Тульской области) характеризуется валовыми концентрациями тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, Sb, U и Th), повышенными в 1,2-1,5 раза по сравнению с почвообразующими лессовидными отложениями, что позволяет предположить значимость антропогенных источников их поступления в почвы агроценозов. Общий анализ содержания ТМ в исследованном пахотном черноземе показал очень сильную степень загрязнения почвы соединениями Zn, относящегося к 1 классу опасности, с 1,5-кратным превышением величины ОДКвал, а также среднюю степень загрязнения почвы соединениями Mn и V, относящимся к 3 классу опасности, с 1,5-кратным превышением величин ОДКвал в пахотном горизонте и ниже по профилю вплоть до переходного к почвообразующей породе горизонта ВСа, что позволяет предположить наличие региональной природной аномалии содержания этих элементов в покровных отложениях района исследования. Возможными причинами высоких уровней накопления цинка и ванадия в исследуемой почве может быть естественное повышение регионального геохимического фона для этих элементов, поскольку высокие уровни их содержания фиксируются по всему профилю вплоть до породы. При этом оценка полиметаллического загрязнения почвы ТМ по показателю Zc не выявляет опасных уровней накопления комплексов ТМ. Повышенные концентрации ТМ в пахотном горизонте позволяют предположить значимость антропогенного источника привнесения элементов в почву и изменение ее природного геохимического фона.

УДК 504.5

УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ФИТОРЕМИДАЦИИ, К ТЕХНОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

Попов В.Р., Черникова Н.П., Дудникова Т.С., Смахунов А.Е.

Студент, 1 курс магистратуры

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии

им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону, vladikus1010101@gmail.com

Одним из последствий развития промышленности является загрязнение почвенного покрова тяжёлыми металлами (ТМ) и полиароматическими углеводородами (ПАУ). Фиторемедиация является одним из экологически перспективных способов восстановления почвы, при котором используются стрессоустойчивые растения, аккумулирующие повышенное содержание поллютантов и способные к улучшению свойств почв. Широко используемыми растениями для фиторемедиации являются такие гипераккумуляторы как горчица. Один из видов горчицы, называемой индийской, или сарептской, является весьма эффективным накопителем Pb, Cu и Ni. Люцерна широко используется для фиторемедиации нефтезагрязненных территорий, поскольку она устойчива к нефти, обладает хорошо развитой корневой системой, в ее ризосфере создаются благоприятные условия для развития микроорганизмов-деструкторов нефти и нефтепродуктов. Люцерна способствует обогащению почвы азотом, что является важным условием для восстановления почвы. Целью данной работы является изучение влияния загрязнения почвы ТМ и ПАУ на устойчивость, рост и развитие растений.

В качестве загрязненной почвы был выбран хемозем (0-20 см), отобранный на территории высохшего озера, использованного в качестве шламонакопителя. В качестве контроля отобрана аллювиальная луговая почва (0-20 см) с близкими к хемозему физическими и

химическими свойствами, расположенная на удалении 1 км от шламонакопителя. Перед началом эксперимента почву высушивали на воздухе, очищали от растительных остатков, измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 3 мм. Далее был заложен вегетационный опыт, навески почвы по 400 г помещали в пластиковые сосуды и поливались до полной полевой влагоемкости. По прошествию инкубационного периода (7 суток) в каждый из вариантов был произведен посев семян люцерны посевной (*Medicago sativa*) в количестве 30 шт. и горчицы сарептской (*Brassica juncea*) в количестве 3 шт. на один сосуд. Отбор почвенных и растительных проб проводили спустя месяц после всходов. В образцах почвы было определено валовое содержание ТМ (Mn, Cr, Zn, Cu, Pb, Ni и Cd) рентген-флюоресцентным методом на спектрокане «МАКС-GV» (ООО «НПО «СПЕКТРОН», Россия). Количественное определение ПАУ осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим и ультрафиолетовым детектированием на хроматографе Agilent 1260, США (2015) согласно методу ISO 13877–2005. Уровень загрязнения почвы оценивали по суммарному показателю загрязнения (Z_c). Исследование почв показало, что содержание тяжелых металлов в почве контрольного варианта соответствует фоновому уровню для почв Ростовской области. В хемоземе отмечается превышение Cd в 3 раза по сравнению с незагрязненной аллювиальной луговой почвой, Cu в 5 раз, Zn в 10 раз, Pb в 7 раз. Валовое содержание Pb в загрязненной почве превышает ОДК в 1,5 раза, Cu – в 2 раза, Zn – в 3 раза. Содержание Mn, Cr и Ni соответствовало аллювиальной луговой почве.

Установлено, что суммарное содержание ПАУ в почвах контрольного варианта составляет 212 нг/г. В загрязненной почве суммарное содержание ПАУ выше в 17 раз и составляет 3578 нг/г. Состав полиаренов в загрязненной почве отличен от контроля и представлен преимущественно высокомолекулярными соединениями. Однако, большую долю среди всех ПАУ в составе суммы занимает фенантрен (15%). Доля нафталина, флуорантена, пирена, хризена, бенз(b)флуорантена, бенз(g,h,i)перилена составляет порядка 10% каждого соединения. Содержание бенз(a)пирена превышает ПДК в 19 раз.

Расчитано, что категория загрязнения почвы для ТМ умеренно опасная ($Z_c = 22$), а для ПАУ чрезвычайно опасная ($Z_c = 391$).

Установлено угнетение развития и роста люцерны, выросшей на хемоземе по сравнению с контрольным вариантом (табл. 1). Особенности различия наблюдаются на длине корней. В то же время высокий уровень загрязнения почвы не повлияло на рост и развитие горчицы.

Таблица 1. Морфометрия и вес растений

Вариант	Длина корней, см	Высота стеблей, см	Вес мокрый		Вес сухой	
			Корни, г	Побег, г	Корни, г	Побег, г
Горчица						
Контроль	6,3	27,5	0,07	6,8	0,020	0,52
Загрязнение	7,9	28,1	0,08	7,2	0,021	0,71
Люцерна						
Контроль	6,1	17,9	0,15	4,6	0,019	0,48
Загрязнение	4,6	15,3	0,13	3,2	0,026	0,44

Таким образом, несмотря на высокий уровень загрязнения, угнетение развития горчицы сарептской не наблюдалось, что подтверждает возможность использования для фиторемедиации хемоземов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение №075-15-2022-1122.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНО АКТИВНОГО ИЛА НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ

Попова Т.Н.¹, Икконен Е.Н.², Бутылкина М.А.³, Юркевич М.Г.¹, Бахмет О.Н.¹

¹ОКНИ КарНЦ РАН, Петрозаводск;

²ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail: likkonen@gmail.com

³МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Интенсификация сельскохозяйственного производства основывается на внедрении новых экономически выгодных методов и приемов, обеспечивающих, повышение плодородия почв и, как следствие, продуктивности и урожайности растений. В качестве частичной замены внесения в почву высоких доз удобрений рассматривается и изучается широкий спектр веществ, включая отходы целлюлозно-бумажной промышленности. Целью данного проекта являлась оценка влияния внесения в почву вторичного отхода ЦБК, а именно избыточно активного ила, на химические и физические свойства почвы, а также основные физиологические процессы культивируемых на ней растений, такие как накопление биомассы, скорость роста, интенсивность фотосинтеза и дыхания.

Для исследования использовали дерново-подзолистую почву, объектом был выбран листовой салат (*Lactuca sativa* L.). Растения выращивали в условиях 46-дневного вегетационного опыта при регулярном поливе 0, 20 и 40% раствором активного ила. Для оценки влияния отхода на устойчивость растений к действию стрессового фактора, а именно, к загрязнению почвы свинцом, в почву предварительно добавляли $Pb(NO_3)_2$ в дозе 0, 50 и 250 мг кг⁻¹. Отборы образцов почвы для исследования ее химических и физических свойств проводили после окончания вегетационного опыта.

Выявлено существенное влияние внесения избыточно активного ила как на свойства почвы, так и на параметры физиологического состояния растений. При этом, влияние отхода на растения было наиболее выраженным в условиях высокой концентрации тяжелого металла в почве. В загрязненной свинцом почве наблюдали снижение содержания общего углерода и доступного фосфора, но внесение вторичного отхода способствовало повышению содержания почвенного углерода, а также азота и фосфора, и снижению концентрации в почве доступного свинца. Хотя при поливе растений происходило частичное накопление отхода на поверхности почвы, поступившие вглубь почвы частицы ила, видимо, взаимодействовали с твердой фазой почвы, о чем свидетельствовали изменения в соотношении гранулометрических фракций. Также было отмечено увеличение содержания водоустойчивых агрегатов фракции 0.05-1.0 мм. Кривые водоудерживания показали изменение структуры порового пространства с увеличением доли крупных дренажных пор. Вторичные отходы повышали теплопроводность влажной почвы, что могло быть связано с увеличением объемов удерживаемой почвой влаги.

Повышение содержания органического вещества и доступности макроэлементов, наряду с улучшением физических свойств почвы, может быть причиной выявленного в ходе исследования роста продуктивности растений *L. sativa*. Внесение ила усиливало рост листового салата с перераспределением биомассы растений в сторону большего накопления в побегах, чем в корнях. Эффект детоксикации почвы при применении отхода проявлялся в повышении скорости роста растений и накоплении ими сухого вещества, снижении содержания свинца в тканях растений, увеличении фотосинтетической эффективности использования света и макроэлементов и повышении интенсивности ассимиляции CO₂ в процессе фотосинтеза. Тогда как повышенное содержание свинца в почве ингибировало активность фотосистемы II и усиливало интенсивность дыхания листьев, внесение в почву избыточно активного ила снижало поступление металла в ткани растений, что сопровождалось восстановлением интенсивности фотосинтеза, снижением дыхательных затрат и смещением баланса углерода растений в сторону его накопления. Последнее способствовало росту продуктивности растений.

В совокупности результаты свидетельствуют о положительном эффекте избыточно активного ила на химические и физические свойства дерново-подзолистой почвы, и, как следствие, на основные физиологические процессы и продуктивность растений.

Положительное влияние на растения, при этом, проявилось в большей степени в стрессовых условиях их роста в загрязненной тяжелым металлом почве. Наряду с улучшением свойств почвы, немаловажную положительную роль играет, видимо, снижение мобильности ионов свинца, что обусловлено поступлением в почву с отходами большого количества органического материала.

Работа выполнена при поддержке РФФ, № 22-16-00145.

УДК 631.41

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Рождественская Т.А., Пузанов А.В., Ельчининова О.А., Бабошкина С.В., Трошкова И.А., Балькин С.Н.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, e-mail rtamara@iwep.ru

Алтайский край является одним из крупнейших сельскохозяйственных регионов Российской Федерации. Оценка содержания радионуклидов в почвах агроэкосистем является необходимым условием обеспечения экологической безопасности получаемой продукции. Калий-40 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало от урана-238 и тория-232, относятся к основным радиоактивным изотопам, встречающимся в земной коре, и являются главными факторами существования естественного радиационного фона. ^{40}K – основной радионуклид, определяющий постоянное внутреннее облучение живых организмов. Естественные радионуклиды и обусловленный их присутствием в почвах естественный радиационный фон, как правило, не представляет опасности для животных и человека, но их концентрация в окружающей среде может быть значительно повышена в результате антропогенной деятельности. Цель исследований – определение содержания естественных радионуклидов в пахотных почвах Алтайского края и выявление особенностей их поведения. Репрезентативные участки пашни расположены в различных агроэкологических зонах Алтайского края: Кулундинской – сухая степь на каштановых почвах Кулундинской низменности; Рубцовской – засушливая степь на чернозёмах южных Приобского плато; Заринской – лиственные леса и остепнённые луга на чернозёмах выщелоченных Бие-Чумышской возвышенной равнины и на чернозёмах оподзоленных и тёмно-серых лесных почвах Предгорий Салаира; Предгорной – луговая степь на чернозёмах Предалтайской равнин; Приобской – колючая степь на чернозёмах обыкновенных Приобского плато; Алейской – умеренно засушливая степь на чернозёмах обыкновенных Приобского плато; Бийской – лесостепь на чернозёмах выщелоченных и серых лесных почвах Бие-Чумышской возвышенной равнины. Исследования проведены в 2018 г. Определение содержания и активности радионуклидов в пробах выполнено в Аналитическом центре коллективного пользования ИГМ СО РАН методом гамма-спектрометрическим методом. Содержание и удельная активность радионуклидов пахотных почв некоторых агроэкологических зон приведены в таблице.

Уровень радиоактивности почв, создаваемый излучением естественных радионуклидов, определяется, в первую очередь, содержанием этих нуклидов в материнских породах. Кроме того, уровень радиоактивности почв зависит от ландшафта, климатических условий, свойств почв. Важную роль в распределении радионуклидов играют сорбционный и биогеохимический барьеры.

Содержание естественных радионуклидов в исследуемых почвах определяется их количеством в почвообразующих породах. Эта закономерность проявляется для всех исследуемых элементов: средние концентрации в почвообразующих породах и почвах

практически идентичны. Анализ данных показал, что удельная активность естественных радионуклидов колеблется в довольно узких пределах. Концентрации урана и тория в пахотных почвах лесной зоны (Бийская агроэкологическая зона) находится на уровне кларка, в пахотных почвах степных зон (Кулундинская, Рубцовская) – ниже кларка из-за преобладания в составе песков кварца, характеризующегося низкой радиоактивностью и удаленности насыщенных элементами мелкодисперсных почвенных частиц в результате дефляции (таблица). Тем не менее, слабая степень вариации удельной активности свидетельствует о довольно однородном пространственном распределении радионуклидов, особенно калия-40, в пахотных горизонтах почв края в целом, несмотря на значительные различия почв по физическим и физико-химическим свойствам. Результаты исследования согласуются с ранее полученными нами данными для почв Алтая в целом, где среднее содержание ^{238}U – $1,9 \pm 0,001$, ^{232}Th – $6,0 \pm 0,003$ мг/кг, активность ^{40}K – 419 Бк/кг, и черноземов Северо-западного Алтая (количество ^{238}U – $2,1 \pm 0,1$, ^{232}Th – $7,4 \pm 0,1$ мг/кг, активность ^{40}K – 498 ± 9 Бк/кг).

Прочное закрепление урана и тория в почвах происходит, как правило, за счет их сорбции органическими веществами и глинистыми минералами. Количество гумуса в пахотных горизонтах исследуемых почв изменяется в широких пределах – от 2,6% в Рубцовской зоне до 7,9% в Бийской и Приобской. Содержание физической глины увеличивается с 17% в почвах Кулундинской зоны до 53% – в почвах Бийской. Большинство почв характеризуется мощными карбонатными системами (до 21% карбонатов в горизонте Вк). Отмечается тенденция к аккумуляции элементов в обогащенных органическим веществом, а также в иллювиальных горизонтах некоторых почвенных разрезов. Более узкое, чем в почвообразующих породах, торий-урановое отношение (обычно в горных породах близкое к 3) в пахотных горизонтах, свидетельствует о закреплении урана органическим веществом в верхних горизонтах и выносе тория в карбонатные горизонты (таблица, Предгорная зона). Таблица – Содержание и удельная активность радионуклидов пахотных почв некоторых агроэкологических зон

Почва, зона	Глубина образца, см	U(Ra)	Th	Th/U	U(Ra)	Th	^{40}K
		мг/кг			Бк/кг		
Чернозем выщелоченный, Бийская	10-20	4,2	8,1	1,9	53	33	424
Чернозем обыкновенный, Приобская	0-12	2,3	5,4	2,3	28	22	458
Чернозем южный, Рубцовская	0-6	2,0	5,4	2,7	25	22	475
Темно-каштановая, Кулундинская	0-15	1,9	5,1	2,7	24	21	481
Чернозем обыкновенный, Предгорная	0-15	2,0	8,8	4,4	25	36	501
	20-30	2,0	7,2	3,6	25	29	426
	40-50	1,9	7,8	4,1	24	32	541
	50-60	0,9	9,4	10,4	11	38	504
	80-90	2,1	8,3	4,0	27	34	448
	120-130	2,1	7,4	3,5	27	30	495
Пахотный горизонт (вся выборка)	до 20	$2,2 \pm 0,5$	$6,9 \pm 0,4$	3,1	$27 \pm 3,0$ (21)	28 ± 2 (18)	459 ± 11 (8)

Примечание. В скобках – коэффициент вариации, %.

Таким образом, содержание естественных радионуклидов в пахотных почвах не превышает фоновых значений, определяется их количеством в почвообразующих породах, свойствами почв и наличием геохимических барьеров.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН по проекту FUFZ-2021-0003

УДК 622.882

ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Романов О.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,
romanovoleg@rambler.ru

“Земледелец эксплуатирует поверхность почвы. Для земледельца важно протяжение поверхности, ее площадь”¹ в этом можно обнаружить сходство с современным застройщиком, который также прагматично если не потребительски относится к земельному участку, из которого нужно извлечь максимальную прибыль. Почвенный слой продать в садово-парковые предприятия, деревья и кустарники аккуратно подморить, чтобы не потребовалось вносить восстановительную стоимость зеленых насаждений в бюджет города. **Рекультивация** представляет комплекс мер по экологическому и экономическому восстановлению земель и водных ресурсов, плодородие которых в результате человеческой деятельности существенно снизилось. В Санкт-Петербурге полномочия по осуществлению надзорных мероприятий в исследуемой области разделены между региональными и федеральными органами исполнительной власти. К первым относятся комитет по благоустройству и комитет по природопользованию. Полномочия первого из списка комитета предусматривают обеспечение проведения государственной политики и осуществление государственного управления в области благоустройства: садово-паркового, лесопаркового хозяйства, содержания дорог и иных объектов благоустройства. Во втором случае уполномоченный орган осуществляет государственное управление в области охраны окружающей среды, а также в сфере использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов. Государственный надзор в сфере охраны атмосферного воздуха, водных ресурсов, недр, почв и животного мира. Обеспечение регионального государственного экологического мониторинга. Уборку мусора на реках, каналах, водоёмах. Обращение с отходами. К федеральным органам исполнительной власти относится служба Роспотребнадзора, которая для целей данного исследования уполномочена к выдаче заключений о соответствии или не соответствии по факторам окружающей среды, кроме этого, заключений о режиме использования земельных участков. Актуальность темы исследования заключается в фактической подмене понятий рекультивации почв, компенсационными мероприятиями по взиманию платы за нанесение почвам ущерба. Формула для расчета платежей за нарушение благоустройства составлена таким образом, что порождает теневой коррупционный рынок продажи справок о размещении загрязненных грунтов, заключений о проведении рекультивации при фактическом отсутствии каких-то работ. Вместо плодородного грунта при восстановлении благоустройства подведомственными ГУПами применяются смеси, не соответствующие требованиям, что ведет к эрозии почв, выветриванию и деградации территорий. Русский чернозем – этот «царь почв» – для России «дороже всякой нефти, всякого каменного угля, дороже золотых и железных руд; в нем – вековечное, неистощимое – русское богатство» как отмечал В.В.Докучаев. Ученый называет причины истощения

¹ Скворцов А. И., профессор. Основы экономики земледелия. Т.1. Учение о факторах земледельческого хозяйства. Руководство для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений и для самообразования. СПб. Типография И.Н. Скороходова. 1900 г. С.12.

главнейшей, почвы России: «наша экономическая отсталость и наше невежество». Как результат превышение опасных фоновых концентраций в грунтах по всем факторам окружающей среды. Рекультивация почв проблема в управлении. Руководящие должности в профильных комитетах и службах заняты выходцами из силовых структур, не имеющих профильного экологического или сельскохозяйственного образования. Постановка проблемы была сделана Василием Васильевичем Докучаевым, который отмечал: «Если мы хотим лишить сельское хозяйство характера биржевой игры... безусловно необходимо, чтобы все естественные факторы (почва, климат с водой и организмы) были бы исследованы и испытаны, по возможности, всесторонне и непременно во взаимной их связи». Сегодня перед началом строительства происходит исследование факторов окружающей среды и изготовление протоколов, заключений Роспотребнадзора. Вывоз зараженного грунта делает не рентабельным реализацию любого из инвестиционных проектов. Как результат убыточность ведет либо к долгострою, либо к появлению объектов незавершенного строительства, либо к выдаче заведомо фиктивных заключений о соответствии по факторам окружающей среды. Очевидно, что никто не будет снимать и вывозить грунт с земельного участка под размещение поликлиники на глубину 2 метра. Практический пример: переезд на новую площадку ядовитого производства «Прикладная химия» из центра города и строительство на этом месте судебного квартала и театра заняло 2 десятилетия и еще не окончено. Альтернативный вариант, когда уполномоченные органы исполнительной власти выставляют проблемные участки на торги, заведомо не внося в документацию для торгов информацию о радиоактивной загрязненности участка. Инвестор приобретает землю и оказывается в патовом положении, когда даже имея желание вывезти радиоактивный грунт с площадки отсутствуют необходимые лимиты на вывоз грунта на соответствующие полигоны. Простым языком полигон не может принять столько зараженного грунта. В настоящее время влияние радиационного фактора на биосферу признано одним из определяющих и требуется комплексный контроль за радиационной безопасностью города. Заключение. Подводя итог практических проблем связанных с грамотной рекультивацией почв на примере Санкт-Петербурга, необходимо воссоздание школы почвоведов, которые кроме правильного голосования будут заниматься естественнонаучными проблемами. Сегодня почва рассматривается как актив, который капитализируется за счет спекулятивных перепродаж и изменения категории назначения земельных участков. Практическое применение сегодня, когда ради бизнеса объявляют территорию поселений рекреацией, а в промзонах меняют вид использования на жилые зоны. Докучаев обосновал необходимость системы комплексных мероприятий по оздоровлению «земледельческого организма» России. Он один из инициаторов применения археологического метода в почвоведении. В целом в вопросах рекультивации почв и государственном регулировании указанной области изменились только названия, принцип работы остается, как и 150 лет назад. 18 апреля 1893 года Докучаев писал своему другу Измаильскому: «Справиться с здешними самодурами дело далеко не легкое». Эта борьба, особенно «с общественной и бюрократической рутинной» России. Принятый в 2023 г. Генеральный план Санкт-Петербурга полностью отражает несоответствие графических материалов генплана, фактическому использованию земельных участков и зданий на них. Когда в силу законодательства на земельном участке разрешенный вид использования гостиница, а используется под магазин, на соседнем участке вид использования паркинг, а фактически офисный центр, рядом объект спорта, а по факту жилой дом. Чиновники в целях личного обогащения или личной неприязни изменяли исторически сложившиеся виды использования земельных участков, для создания проблем собственникам. Такая политика приводит к ускоренной деградации городских земель и не позволяет проводить эффективные мероприятия по рекультивации территорий Санкт-Петербурга.

ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКА И ФОРМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БИОДОСТУПНОСТЬ СВИНЦА В ПОЧВАХ ГОРОДСКИХ И ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ МЕКСИКИ

Седов Н.С.¹, Франсиско Р.², Черных Н.А.³, Бахтина А.Б.¹

¹АО «ВНИПИПромтехнологии», Москва, nssedov@rambler.ru;

²Национальный автономный университет Мексики, Мехико, nssedov@rambler.ru;

³Московский государственный институт международных отношений, Москва, natchernykh63@mail.ru

Свинец - один из распространённых тяжёлых металлов, поступающий в почвы и экосистемы из разных антропогенных источников (металлургия, химическая, электротехническая и атомная промышленность, использование этилированного бензина и др.), с высокой токсичностью и выраженным негативным воздействием на здоровье человека. Оценка загрязнения, включая нормирование, производится на основе валовых содержаний элемента. Однако реальная токсичность данного элемента зависит не только от суммарного количества, но и от форм нахождения, которые сильно различаются по их воздействию на организм – от высокой усваиваемости до почти полной инертности. В связи с этим важной дополнительной характеристикой загрязнения является оценка биодоступности токсиканта. Один из подходов – оценка оральной биодоступности элемента в почве методом экстракции, основанном на биохимии пищеварительного тракта человека (The Physiologically Based Extraction Test, РВЕТ). Этот тест является по существу двухступенчатой последовательной экстракцией с использованием различных ферментов для имитации среды желудка или кишечника: эффект желудочного сока создает раствор, в состав которого входят деионизированная вода, лимонная кислота, малеиновая кислота, молочная кислота и уксусная кислота при рН 1,5, для моделирования кишечной среды в смесь почва/желудочный экстракт добавляют желчные соли свиньи и свиной панкреатин, при этом рН раствора доводится до 7. Мексика – страна с продолжительным и сильным загрязнением тяжёлыми металлами, включая свинец. Была исследована биодоступность свинца в почвах двух контрастно различающихся антропогенных ландшафтов: 1) территории мегаполиса Мехико 2) отвалов добычи полиметаллических руд рядом с городом Парраль, на юге штата Чиуауа. Из полученных результатов следует, что в горнорудном районе штата Чиуауа (г. Парраль) при средней валовой концентрации 787,5 мг/кг, содержание биодоступных форм в среднем составляет 64%. А в мегаполисе (г. Мехико) при средней валовой концентрации 324,7 мг/кг, средняя биодоступность составляет более 83%, а в некоторых случаях достигает 100%. На рисунке 1 показано сравнение валовых концентраций и содержание биодоступных форм свинца в г.Парраль и г. Мехико. По результатам проведенных анализов можно сделать вывод, что несмотря на значительно более низкие валовые концентрации свинца в городе Мехико, опасность негативного воздействия на человека выше, чем в горнорудном районе, загрязненном отходами металлургической промышленности. Это объясняется тем, что основное влияние на биодоступность свинца имеет форма, в которой он присутствует. В горнорудном районе Парраль соединения свинца присутствуют преимущественно в форме крупных зерен первичных кристаллических минералов, оставшихся после обогащения – галенита (PbS) и англезита (PbSO₄), для которых характерны, соответственно, низкая (галенит) и средняя (англезит) у которых в целом низкая биодоступность. В Мехико основная предполагаемая форма – связанная с органическими компонентами, адсорбированная на тонкодисперсных минеральных частицах так как основным источником загрязнения был этилированный бензин и продукты его сгорания. Бытовое загрязнение, вызванное свинцовосодержащими коммерческими продуктами (красители, аккумуляторы и т.п.) приводит к появлению в городских почвах оксидов и карбонатов свинца. Все эти формы характеризуются очень высокой биодоступностью.

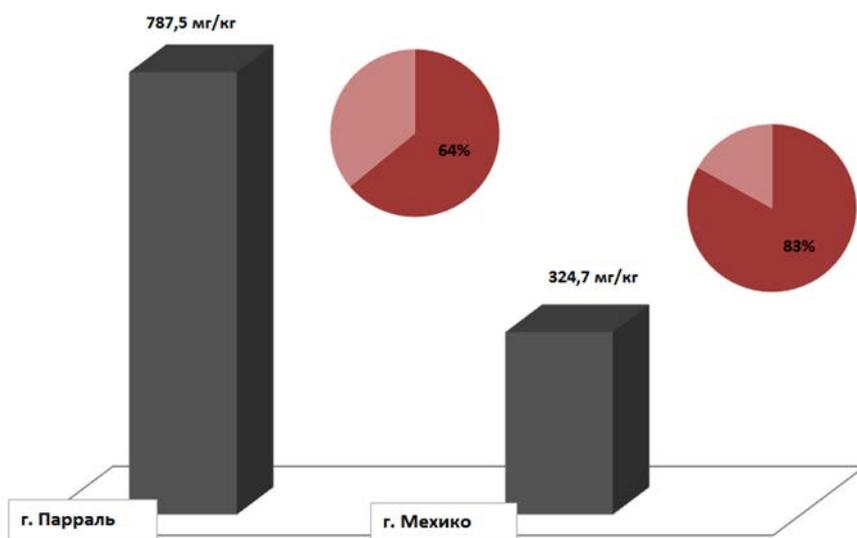


Рисунок 1 - сравнение валовых концентраций и содержания биодоступных форм свинца в районах исследования

Внутри одного района исследований зависимость биодоступности от валового содержания свинца не выявлена: минимальные и максимальные значения встречаются как при низких, так и при высоких значениях валового содержания свинца.

УДК 631.417.7

ВЛИЯНИЕ ЧЕРВЕЙ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ В ПОЧВЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Стрелецкий Р.А., Демин В.В., Фортова С.М., Борзов А.А., Завгородняя Ю.А.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, streletskiyrostislav@mail.ru

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) - это класс органических соединений, которые состоят из двух или более ароматических колец. ПАУ являются устойчивыми в пределах окружающей среды загрязняющими веществами и представляют угрозу для здоровья человека, являясь канцерогенами. ПАУ могут попадать в почву из атмосферы с угольными и сажевыми частицами (частицами черного углерода), образующимися при сжигании органических материалов - растительных биомасс и ископаемых топлив. Источниками таких ПАУ становятся отопительные системы, угольные шахты, природные пожары, автомобильные и промышленные выбросы. Процессы перераспределения и трансформации поступающих на поверхность почвы частиц черного углерода определяют возможность аккумуляции и миграции в почвенном профиле сорбированных на них молекул ПАУ.

Одним из факторов трансформации (миграции, сорбции/десорбции, биотрансформации) несущих ПАУ частиц оструктуренного углерода является деятельность почвенных беспозвоночных. Черви способны перемещать загрязняющие вещества по профилю почвы и изменять их биодоступность благодаря своей агрегатообразующей функции. Считается, что черви способствуют микробиологическому разложению ПАУ, так как их пищеварительный тракт служит местом обитания для различных микроорганизмов, которые могут участвовать в биотрансформации и биотрансформации полиаренов. Тем не менее, влияние червей на поведение ПАУ в почвах изучено недостаточно. Имеются результаты исследований, в ходе которых ПАУ вносили в почву в молекулярной форме в виде раствора, однако отсутствуют эксперименты, моделирующие реальные условия поступления ПАУ в почву в составе разных загрязняющих форм, одной из которых являются частицы черного углерода.

Были проведены серии модельных экспериментов по изучению роли червей *Dendrobaena veneta* в процессах распределения и трансформации ПАУ, поступающих в почву с

угольными и сажевыми частицами. В колонки с агродерново-подзолистой почвой (гор. Р), заселенной взрослыми особями червей, вносили с поверхности вместе с листовой массой содержащие ПАУ загрязняющие формы: аэральные сажевые частицы, образующиеся в транспортных выхлопах; измельченный уголь, получаемый пиролизом древесины березы. В течение двух месяцев колонки инкубировались в режиме «день-ночь», в них поддерживалась оптимальная влажность и температура 18-20°C. Затем почву разбирали на слои по 1-2см, для каждого слоя проводили исчерпывающую экстракцию ПАУ с использованием автоматической системы ASE 200 Dionex и экстракцию биодоступной фракции ПАУ бутанолом. Содержание ПАУ определяли методом обратнофазной хроматографии на жидкостном хроматографе Agilent 1260 с флуориметрическим детектором. Были заложены контрольные варианты опыта без заселения червями, а также с внесением ПАУ в молекулярной форме в виде раствора.

Было получено, что в течение модельного опыта происходила миграция в почве внесенных на поверхность в разных формах ПАУ на глубину перемещения червей. В результате деятельности *Dendrobaena veneta* через два месяца распределение ПАУ в профиле почв стало равномерным за счет относительного повышения концентрации полиаренов в нижних слоях конструкций. В то же время, в незаселенных червями конструкциях с поверхностным загрязнением максимум концентраций ПАУ наблюдался в верхнем слое (0-1см).

После двух месяцев инкубации суммарное содержание ПАУ в большинстве модельных почвенных конструкций без червей снизилось на 12-15%, за исключением вариантов почвы, загрязненной углем - там деградация ПАУ составила менее 5%. Наиболее значительно (в 2 раза) снижалось содержание ПАУ в верхних 2см почв без червей. Для заселенных червями почв контрольных вариантов и при внесении ПАУ в молекулярной форме общее содержание ПАУ снизилось на 20%; содержание полиаренов в почвах с червями при загрязнении угольными и сажевыми частицами за два месяца инкубации достоверно не изменилось.

После эксперимента в вариантах без червей произошли изменения в составе внесенных в почву ПАУ: в верхних слоях в 2-3 раза снизилось относительное содержание низкомолекулярных 3-4 ядерных структур при накоплении более устойчивых к биодegradации высокомолекулярных полиаренов. Состав ПАУ в заселенных червями почвах с внесением аэральные сажевых частиц и древесного угля достоверно не поменялся в верхних слоях почвы и был сходным во всех слоях после окончания эксперимента.

За время эксперимента в незагрязненных конструкциях биодоступность низко- и высокомолекулярных ПАУ не изменялась. Относительное содержание биодоступной фракции полиаренов в верхнем слое почвы, загрязненной молекулярными ПАУ, снижалось; для почвы, загрязненной углем, наоборот, наблюдалось повышение относительного содержания потенциально биодоступных ПАУ. Влияние червей *Dendrobaena veneta* выражалось в снижении по сравнению с незаселенными вариантами относительного содержания всех структур доступных ПАУ с глубины почвы 1-2см, особенно заметном в глубоких горизонтах почв, загрязненных частицами черного углерода.

Таким образом, в незаселенных червями почвах ПАУ - в большей степени низкомолекулярные - подвергались микробной деградации, особенно интенсивной в верхних слоях конструкций. Деятельность червей привела к распределению поступивших ПАУ на всю глубину моделируемого слоя. При этом практически полное отсутствие изменений в содержании и составе ПАУ по сравнению с исходной почвой указывает на перевод этих загрязняющих веществ в биологически недоступное состояние. Этот факт можно объяснить блокированием части ПАУ, сорбированных на сажевых и угольных частицах, внутри образующихся в результате активности червей агрегатов. ПАУ в биологически недоступной форме могут долго находиться в почве в неизменном виде, до тех пор, пока агрегаты, в которые они заключены, не будут разрушены. Можно предположить, что при регулярном залповом или хроническом поступлении несущих полиарены частиц происходит их равномерное распределение в почве на глубину активного перемещения червей, что: 1)

замедляет аккумуляцию ПАУ только в верхнем (1-2см) слое почвы, который может стать источником вторичного загрязнения сопредельных сред; 2) переводит ПАУ в биологически малодоступную форму, снижая негативный экологический эффект от присутствия в почвенной среде этих поллютантов.

Работа выполнена в рамках Госзадания МГУ № 122011800459-3

УДК 631.41

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВЕ ПРИ ЭРОТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Барбашев А.И., Немцева А.А., Балабай М.С., Шуваев Е.Г.
Антоненко Е.М.

Южный федеральный университет, г. Ростов на-Дону, e-mail: snsushkova@sfedu.ru

Аэротехногенные выбросы предприятий энергетического комплекса являются одним из основных источников поступления опасных химических канцерогенов группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). При мониторинге экологического состояния почв принято рассматривать 16 ПАУ, как представителей приоритетных органических поллютантов из списка агентства по охране окружающей среды США. Данные вещества имеют в своей структуре 2 и более сконденсированных бензольных кольца. Соединения с 2-мя и 3-мя бензольными кольцами входят в подгруппу низкомолекулярных, 4-мя, 5-ю и 6-ю – высокомолекулярных. С увеличением количества бензольных колец токсичность и канцерогенная активность ПАУ возрастает. Целью исследования являлось изучить особенности состава ПАУ при различной аэротехногенной нагрузке.

Объектом исследования являлся чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый, расположенный в импактной зоне предприятия энергетического комплекса – ОГК-2 Новочеркасская ГРЭС. Площадки мониторинга заложены на расстоянии 2 км (№1) и 20 км (№2) от предприятия в северо-западном (СЗ) направлении – в зоне влияния преобладающего ветра. Отбор проб осуществлен на глубину 0-20 см. Экстракция ПАУ из почв проведена гексаном в трехкратной повторности с предварительным кипячением 1 гр образца в 2-% растворе гидроксида калия. Количественный анализ ПАУ в экстракте выполнен с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260. В ходе исследования определены 15 представителей ПАУ, входящих в список приоритетных поллютантов.

По результатам исследования установлено, что в почве площадки мониторинга №1, расположенной в 2 км от предприятия в направлении СЗ суммарное содержание приоритетных ПАУ составляет 4103 нг/г, 75% из которых приходится на наиболее опасные высокомолекулярные, преимущественно 5-ти кольчатые соединения (1444 нг/г). С удалением от предприятия, на расстоянии 20 км в направлении СЗ аэротехногенное влияние ГРЭС снижается. При этом суммарное содержание ПАУ в почве площадки мониторинга №2 (20 км СЗ) уменьшается в 2,5 раза и составляет 1654 нг/г, а доля низкомолекулярных соединений не превышает 60%, а в составе доминируют преимущественно 4-х кольчатые ПАУ (552 нг/г)

Таким образом, количество и доминантный состав соединений ПАУ в почвах, расположенных в импактной зоне ГРЭС, зависит от расстояния до источника эмиссии. При увеличении расстояния площадки мониторинга от ГРЭС в 10 раз, наблюдается уменьшение суммарного содержания ПАУ в почве в 2,5 раза: с 4103 нг/г (2 км СЗ) до 1654 нг/г (20 км СЗ). С уменьшением аэротехногенного воздействия наблюдается снижение доли высокомолекулярных соединений в составе суммы, а также перераспределение доли индивидуальных ПАУ в составе высокомолекулярных в сторону номинирования 4-х кольчатых полиаренов.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122, а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

УДК 631.46;57.044

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПОСЛЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛАТИНОЙ

Тимошенко А.Н.¹, Колесников С.И.¹

¹ Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: aly9215@mail.ru, kolesnikov1970@list.ru

Платина широко применяется в промышленности, в том числе автомобильной, сельском хозяйстве, медицине, косметологии. Вместе с ростом применения платины растет и обеспокоенность экологическими последствиями поступления ее в почвы. Почвы постоянно подвергаются загрязнению платиной, а информации о связанных с этим негативных последствиях не так много. Многие аспекты остаются малоисследованными или еще неисследованными, например, о зависимости экотоксичности платины от размера частиц, химической формы, концентрации в почве и др.

Вследствие этого актуальным представляется провести комплексную широкомасштабную сравнительную оценку экотоксичности разных концентраций и форм платины, в том числе наночастиц, а также динамику воздействия, по широкому спектру наиболее чувствительных и информативных биологических и других показателей состояния почв, отражающих полноценность (или неполноценность) выполнения почвой своих экологических и сельскохозяйственных функций.

Цель работы — оценить экотоксичность платины по биологическому состоянию почв Юга России.

Проведены лабораторные модельные исследования устойчивости основных почв Юга России к загрязнению платиной. Оценка экотоксичности платины проведена по реакции наиболее чувствительных и информативных показателей состояния почвы: общая численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы, дегидрогеназ, инвертазы, уреазы, фосфатазы), всхожесть, длина корней и надземной части редиса, озимой пшеницы, кукурузы. Проведена комплексная оценка биологического состояния почв, разных по своим генетическим свойствам, при загрязнении платиной: чернозема обыкновенного (тяжелосуглинистый, рН=7,8), бурой лесной (легкосуглинистая, рН=6,8) и серопесков — чернозема супесчаного (легкосуглинистый, рН=5,8). Для оценки динамики состояния почв после загрязнения платиной проведено исследование показателей экологического состояния на протяжении 90 суток эксперимента.

В результате исследования установлено негативное влияние платины на состоянии почв.

Степень снижения показателей зависела от многих факторов — концентрации загрязняющего вещества, срока инкубации, типа почвы и формы внесения платины.

Отмечается прямая зависимость степени снижения показателей от концентрации платины в почве. В большинстве случаев, внесение в почву 0,01 мг/кг платины не оказывает влияния на биологические свойства почв. С повышением концентрации платины степень ухудшения состояния почв увеличивается, максимальное снижение показателей отмечается при внесении 100 мг/кг платины. Наибольший негативный эффект платина оказывает через 30 суток после загрязнения, на через 90 суток отмечается тенденция к восстановлению биологических свойств. Отмечается зависимость степени токсичности платины от типа почв. Наибольшую чувствительностью к загрязнению проявили серопески, наименьшую —

чернозем обыкновенный. Установлено, что наиболее токсичной формой поступления платины в почву является хлорид. Полученные результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями, в которых установлены аналогичные закономерности.

УДК 504.05

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР – НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ» НА ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НАЗЕМНЫХ И ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Цветнова О.Б.¹, Щеглов А.И.¹, Кортунков Э.А.¹

МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, e-mail: tsvetnova@mail.ru

Государственный научный центр «Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (ГНЦ НИИАР)- крупнейший российский научно-исследовательский экспериментальный комплекс атомной энергетики (г. Димитровград Ульяновской области). Предприятие входит в состав Государственной корпорации по атомной энергии Росатом и функционирует с 1956 года по настоящее время. С 1990-х годов в целом ряде научных публикаций, а также в средствах массовой информации приводились данные о поступлении радионуклидов в атмосферу в составе выбросов НИИАР (Доклад «Здоровье населения г. Димитровграда», 2002; и др.). Вместе с тем в ежегодных отчетах предприятия (Отчеты по экологической безопасности за 2008–2021 гг., Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2010–2022) сообщается, что все показатели радиационной обстановки в зоне его влияния находятся в норме. Недавнее изучение этого вопроса сотрудниками ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии (г. Обнинск, Калужская обл.) показало, что по сравнению с региональными уровнями отмечается значимое загрязнение ¹³⁷Cs компонентов наземных экосистем вследствие многолетних газо-аэрозольных выбросов НИИАР. При этом в почвах лесных и луговых экосистем более 90% ¹³⁷Cs аккумуляровано в верхнем 0–5 см слое, а в болотных – в толще глубиной до 20 см. Зафиксировано также наличие участка локального радиоактивного загрязнения в русле сброса технологических вод (Панов, Исамов, Кузнецов и др., 2022). К сожалению, за пределами проведенного анализа оказалось распределение ¹³⁷Cs в почвенном профиле по генетическим горизонтам, его накопление в отдельных структурах и видах растительности и высших грибах, которые являются биоиндикаторами по отношению к этому радионуклиду. В связи с этим целью настоящего исследования явилась комплексная оценка радиоэкологической обстановки в наземных и водных экосистемах зоны возможного влияния предприятия НИИАР.

Исследования проводились в 2021–2023 гг. на территории Ульяновской области вблизи предприятия ГНЦ НИИАР. Здесь с учетом розы ветров и на основании космических снимков были заложены 3 пробные площадки (ПП): ПП- 1 - в 200-250 м к северу-северо-западу от НИИ на 3-й надпойменной террасе р. Большой Черемшан, в мелколиственном лесу с примесью широколиственных пород; почвы - типичные серые лесные; ПП- 2 - в 2 км к юго-востоку от производственной площадки НИИ в месте слияния промышленных стоков из промышленно-ливневой канализации (ПЛК-1) в Черемшанский залив Куйбышевского водохранилища р. Волги, на 1-й надпойменной террасе р. Большой Черемшан, также в мелколиственном лесу с примесью широколиственных пород; почвы урбик квазизем на погребенной темно-серой типичной почве с растительностью. ПП-3 - в прибрежной зоне русла северной части Черемшанского залива Куйбышевского водохранилища р. Волги. На пробных площадях проводили измерение эквивалентной поглощенной дозы излучения (ДКГ - 02У «Арбитр») на поверхности почвы и на высоте 1 м в 10-кратной повторности, а также отбор проб доминирующих видов древесной (ассимилирующие органы) и травянистой растительности, мхов, плодовые тела высших грибов. На ПП 1–2 были заложены разрезы и прикопки для определения классификационной принадлежности почв и отбора проб из генетических горизонтов. В русле Черемшанского залива проводили отбор образцов

поверхностной и придонной воды, донных отложений мощностью 25–30 см на расстоянии 35 и 105 см от уреза воды, а также встречающихся видов прибрежно-водной растительности, представленной гелофитами (воздушно-водные) и гигрогелофитами (произрастающие у уреза воды виды). Измерение удельной активности техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{60}Co) осуществляли на сцинтилляционном гамма-спектрометре «Мультирад» (Россия) со сцинтилляционным детектором NaI(Tl) 63x63 мм в 3-кратной повторности. Погрешность измерений 10–15%.

Проведенные исследования показали, что в наземных экосистемах рассматриваемой территории значимых превышений природного радиационного фона не отмечается (0,2–0,3 мкЗв/час). Вместе с тем, в лесных экосистемах вблизи предприятия «НИИАР» средние значения МЭПДГИ на высоте 1 метра несколько выше, чем на поверхности почвы и составляют 0,13 и 0,15 мкЗв/ч, с диапазонами варьирования - 0,12–0,14 и 0,12–0,18 мкЗв/ч соответственно. Данная ситуация нетипична, и, возможно, связана с аккумуляцией растительным покровом радиоактивных аэрозолей текущих выбросов предприятия в атмосферу. В экосистемах, прилегающих к водным, средние значения МЭПДГИ на поверхности почвы и на высоте 1 м составляют 0,10 и 0,07 мкЗв/ч, с диапазоном варьирования 0,07–0,14 и 0,06–0,09 мкЗв/ч соответственно.

Удельная активность ^{137}Cs в профиле почв наземных экосистем (ПП 1 -3) варьирует в диапазоне от 0,1 до 151 Бк/кг. Ее распределение в почвенном профиле характеризуется аккумулятивно-элювиально-иллювиальным типом с максимальными показателями в гумусовом горизонте. Кроме того, в подстилке серых лесных почв (ПП-1) в значимых количествах фиксируется ^{60}Co (83,6 Бк/кг), что свидетельствует о привносе этого радионуклида в почву с выбросами предприятия. Общий запас ^{137}Cs в профиле серой типичной почвы на ПП -1 составляет 0,62 кБк/м², ^{60}Co – 0,013 кБк/м²; в урбик квазиземе (ПП -2) - 3,46 кБк/м². Во всех случаях максимальный запас ^{137}Cs отмечается в гумусовом горизонте, однако он не превышает нормативного значения в 37 кБк/м².

Практически во всех компонентах биоты (древесная, травянистая растительность, мхи) наземных экосистем (ПП 1–2) фиксируется ^{137}Cs . Наибольшая удельная активность этого радионуклида наблюдается в плодовых телах высших грибов (> 2223 Бк/кг). Этот показатель практически достигает норматива на его содержание для сухих грибов (2500 Бк/кг). В воде и донных отложениях (ПП-3) удельная активность ^{137}Cs варьируют от 59 до 308 Бк/кг, причем наибольшие величины отмечаются в донных отложениях, отобранных на расстоянии 105 см от береговой линии. Кроме того, здесь в пробах донных отложений обнаружены значимые количества других техногенных радионуклидов - ^{134}Cs (120 Бк/кг) и ^{60}Co (52 Бк/кг). В донных отложениях, отобранных на расстоянии 35 см от берега, удельная активность $^{134,137}\text{Cs}$ в 7–8 раз ниже, ^{60}Co даже в следовых количествах не фиксируется. Это свидетельствует о прошлых поступлениях радионуклидов в водную среду со сточными водами ПЛК-1 предприятия и их последующем перераспределении толщей воды вследствие стонно-нагонных процессов. Вместе с тем объемная активность техногенных радионуклидов в образцах поверхностной и придонной воде, отобранных в Черемшанском заливе Куйбышевского водохранилища реки Волги, незначима (превышения уровня вмешательства по ^{137}Cs не отмечается). При этом загрязнения прибрежно-водной растительности, распространенной в зоне, примыкающей к руслу северной части Черемшанского залива Куйбышевского водохранилища р. Волги, радионуклидами, локализованными в водах и донных отложениях, не происходит.

В целом радиоэкологическая обстановка в зоне возможного влияния предприятия НИИАР удовлетворительная: МЭПДГИ, плотность загрязнения почвы и уровни удельной активности ^{137}Cs в биоте не превышают нормативных показателей, за исключением грибов, удельная активность которых близка к допустимой – 2500 Бк/кг. Удельная активность ^{137}Cs в основных компонентах лесных экосистем выше, чем в водных, что может быть связано с особенностями поведения радионуклидов в этих экосистемах, а также с неодинаковым

объемом поступления радионуклида на рассматриваемые территории, находящиеся на различном удалении от источника воздействия. При этом как в лесной, так и в водной экосистемах есть «критические компоненты», которые характеризуются повышенной накопительной способностью по отношению к ^{137}Cs . В лесных экосистемах это - подстилка серой лесной типичной почвы и темно-гумусовый горизонт урбик квазизема, а из компонентов биоты – высшие грибы; в водных экосистемах – донные отложения.

УДК 57.044; 631.46

ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА РАЗНОГО РАЗМЕРА ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЧЕРНОЗЕМА

Цепина Н.И., Колесников С.И.

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И.

Ивановского, пр-т Стачки, 194/1, Ростов-на-Дону

e-mail: cepinanatalia@yandex.ru

В результате деятельности человека, включающей синтез, переработку и утилизацию продукции, содержащей наночастицы серебра (AgNPs), увеличивается поступление Ag в окружающую среду, в том числе в почву. При этом экологические последствия загрязнения почв Ag, в том числе наночастицами, исследованы в значительно меньшей степени, чем загрязнение другими тяжелыми металлами. Благодаря антибактериальным свойствам AgNPs широко используются в различных промышленных и бытовых целях, что приводит к неуклонно растущему производству AgNPs и, как следствие, загрязнению ими почв и наземных экосистем. Когда AgNPs попадают в потоки отходов, они накапливаются в осадке сточных вод на очистных сооружениях. Осадки сточных вод могут быть использованы в качестве удобрений для сельскохозяйственных почв. Кроме того, AgNPs часто применяются в сельском хозяйстве в качестве нанопестицидов и противогрибковых средств. Среди ученых возникают опасения по поводу вероятных угроз AgNPs для здоровья экосистем. Попадая в почву, AgNPs оказывают непосредственное влияние на животных, растения, бактерии и ферменты. В литературе встречаются исследования, посвященные сравнительной оценке экотоксичности AgNPs разного размера для обитателей почвенных экосистем. Однако результаты этих исследований противоречивы. Одни авторы считают, что более экотоксичны AgNPs меньшего размера (10–20 нм). В других исследованиях показано, что уровень экотоксичности AgNPs усиливался с увеличением их размера. Однако есть исследования, в которых экотоксичность AgNPs не зависела от размера частиц.

Представляется актуальным провести комплексную оценку экотоксичности частиц Ag разного размера (10, 100 и 1000 нм) по широкому спектру биологических показателей почвы.

Цель работы – оценка экотоксичности частиц Ag разного размера (10, 100 и 1000 нм) по микробиологическим, биохимическим и фитотоксическим показателям чернозема обыкновенного (Haplic Chernozem) в лабораторном модельном эксперименте.

Оценивали экотоксичность частиц Ag разного размера по микробиологическим, биохимическим и фитотоксическим показателям верхнего слоя (0–20 см) чернозема обыкновенного (Haplic Chernozem) в лабораторном модельном эксперименте. Исследовали влияние нано- (10 и 100 нм) и микрочастиц (1000 нм) Ag в концентрациях 1, 10 и 100 мг/кг на биологические показатели чернозема обыкновенного через 30 сут после загрязнения: активность каталазы, дегидрогеназ, ферриредуктазы, уреазы, пероксидазы, полифенолоксидазы, инвертазы, фосфатазы, общую численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, количество проросших семян и длину корней редиса. Установлено, что экотоксичность частиц Ag зависит от их размера: в большинстве случаев частицы Ag размером 10 нм оказывали более сильное экотоксическое влияние на биологические показатели, чем частицы размером 100 и 1000 нм. Существенных различий в экотоксичности частиц Ag размером 100 и 1000 нм выявлено не было. Разница в воздействии частиц Ag

разного размера усиливалась с увеличением концентрации Ag в почве: чем больше концентрация Ag в почве (от 1 до 100 мг/кг), тем более выражена разница в экотоксичности между частицами Ag 10 нм и частицами 100 и 1000 нм. Более чувствительны к загрязнению наночастицами Ag фитотоксические показатели при всех исследованных концентрациях (1, 10 и 100 мг/кг); общая численность бактерий, активность инвертазы и фосфатазы – при 10 и 100 мг/кг; обилие бактерий рода *Azotobacter* и активность дегидрогеназ – при 100 мг/кг. Эти показатели целесообразно использовать при биодиагностике экотоксичности наночастиц Ag. Исследование выполнено при государственной поддержке гранта Российского научного фонда № 22-74-00054 в Южном федеральном университете.

УДК 631.453

ФИТОТОКСИЧНОСТЬ И ГЕНОТОКСИЧНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО, ЗАГРЯЗНЕННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ЦИНКА, СВИНЦА И КАДМИЯ

Черникова Н.П., Цициуашвили В.С.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, nat.tchernikova2013@yandex.ru

Рост промышленного производства наноразмерных материалов и их применение в разных сферах жизнедеятельности неизбежно ведут к экологическим воздействиям, тем самым усиливая актуальность изучения способности наночастиц проникать и накапливаться в живых и биокосных системах.

Для достижения поставленной цели был проведен фитотест с тест-культурой яровым ячменем (*Hordeum vulgare*) согласно ГОСТ 10968-88 и ГОСТ 12038-84. В чашки Петри помещали 50 г чернозема обыкновенного карбонатного, отобранного в Ботаническом саду Южного федерального университета и вносили в виде оксидов наночастиц Zn, Cd и Pb (размер частиц до 30 нм) в дозах 3 и 10 ОДК (СанПиН 1.2.3685-21). Спустя месяц инкубации посажены зерновки ячменя в количестве 10 растений на 1 чашку Петри. На 3-й день вегетационного опыта рассчитывали энергию прорастания, а на 7-е сутки устанавливали всхожесть, длину корней и высоту побегов. Оценку фитотоксичности почвы проводили путем расчета индекса токсичности фактора (ИТФ) по формуле: $ИТФ = ТФ_0 / ТФ_к$, где $ТФ_0$ – величина измеряемого показателя в исследуемом варианте, $ТФ_к$ – на контроле.

Цитотоксичность и генотоксичность почв оценивали по изменению митотического индекса и уровня хромосомных aberrаций в клетках корневой меристемы тест-культуры – гороха посевного (*Pisum sativum*). Митотический индекс (МИ) рассчитывали по формуле: $МИ = (П+М+А+Т)/(П+М+А+Т+И)$, где П – количество клеток на стадии профазы; М – количество клеток на стадии метафазы; А – количество клеток на стадии анафазы; Т – количество клеток на стадии телофазы; И – количество клеток на стадии интерфазы. Семена *P. sativum* проращивали в 50 г почвы и на 4-е сутки отбирали корни в фиксатор Кларка, затем проводили окрашивание 2% ацетоорсеином и готовили давленные препараты для анафазного анализа.

Энергия прорастания и всхожесть ярового ячменя на контрольном варианте (незагрязненная почва) составили 97% и 100%, а средняя длина корней и высота побегов - 9,2 см и 18,3 см соответственно. При внесении наночастиц в почву в дозе 3 ОДК Cd и Pb наблюдалось снижение энергии прорастания на 14%, при этом Pb сильнее ингибировал рост корней и побегов по сравнению с Cd. На варианте 3 ОДК Zn наблюдалось стимулирование роста надземного побега на 20% по сравнению с контрольным вариантом. С увеличением содержания наночастиц ТМ в почве до 10 ОДК их фитотоксичность усиливается. Среди изучаемых элементов I класса опасности Zn и Cd сильнее снижают всхожесть и дружность всходов ячменя по сравнению с Pb. Наибольшее ингибирование среди органов ячменя установлено для подземной части на вариантах 10 ОДК Cd, Zn и Pb, которое составило 52%, 42% и 59%, при этом средняя высота побегов уменьшилась на 33%, 23% и 38% соответственно. По результатам расчета индекса токсичности почвы, загрязненной 3 ОДК

НЧ Zn, присвоен V класс (норма) для чернозема обыкновенного карбонатного, а для Cd и Pb - IV класс (низкая токсичность) токсичности. Увеличение внесенных в почву НЧ Zn и Pb до 10 ОДК способствовало повышению класса токсичности почвы до среднего (III класс), а Cd – до высокого (II класс).

Наблюдаемые хромосомные aberrации в клетках корней гороха при загрязнении почвы НЧ представлены в основном в виде мостов и фрагментов. На варианте 10 ОДК Cd были обнаружены аномалии митоза в виде разрыва клеток на стадии метафазы с образованием метафазной пластины.

Цитотоксичность чернозема обыкновенного, загрязненного НЧ Cd и Pb не зависела от уровня внесения ТМ. Митотический индекс, т.е. процент делящихся клеток корней гороха, уменьшился на 35-40% на вариантах с НЧ Pb, а на вариантах с НЧ Cd – на 43-46%.

Отмечалось, что 3 ОДК Zn оказали стимулирующий эффект на деление клеток, МИ увеличился на 25% по сравнению с контрольным вариантом, при этом на дозе 10 ОДК какого-либо влияния на цитотоксичность не выявлено.

Таким образом, по результатам оценки фитотоксичности, генотоксичности и цитотоксичности чернозема обыкновенного карбонатного, загрязненного наночастицами ТМ I класса опасности, наибольшую токсичность проявляет Cd, а наименьшую Zn. Уровень фитотоксичности почвы, в отличие от генотоксичности и цитотоксичности, зависел не только от самого ТМ, но и от его содержания в почве.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-20089) в Южном федеральном университете

УДК 631.48

АНТРОПОГЕННЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Шешукова А.А., Бахматова К.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, a.sheshukova@spbu.ru

Антропогенные включения (артефакты) представляют собой строительный и бытовой мусор и всегда присутствуют в городских почвах. Городские почвы – урбостратоземы (урбаноземы) характеризуются диагностическим горизонтом урбик (UR), в котором количество таких включений должно составлять не менее 10% (Прокофьева и др., 2014).

Размеры артефактов варьируют от нескольких десятков сантиметров до долей миллиметра. В городских почвах исторического центра Санкт-Петербурга нами было выделено несколько типов антропогенных включений: 1) кирпич и изразцы; 2) известковый строительный раствор и бетон; 3) стекло; 4) шлак; 5) асфальт и битум; 6) кости; 7) металлические фрагменты; 8) фрагменты керамической посуды; 9) древесный и каменный уголь; 10) древесина (щепа, береста и т.д.); 11) рыба чешуя, скорлупа яиц, скорлупа орехов и т.д.

Изучение артефактов и визуальная оценка их количества вначале проводилось в полевых условиях в почвенных разрезах и археологических раскопах. Для дальнейшего исследования мы отбирали пробы почвы, отбрасывая включения крупнее 20-30 мм. В лабораторных условиях изучались более детально артефакты размерами 0,25-10 мм, извлеченные из почвы путем ее сухого просеивания и затем промытые дистиллированной водой и высушенные. Исследование и фотосъемка артефактов в 3D были выполнены с помощью стереобинокуляра Leica, а затем - сканирующего электронного микроскопа с рентгеновским зондом Hitachi 3000 («Ресурсный центр микроскопии и микроанализа» СПбГУ).

Кирпич и строительный раствор чаще всего встречаются в городских почвах в пределах всей антропогенной толщи. Включения кирпича могут залегать целым слоем (фрагменты фундаментов, дорожек, остатки разрушенных зданий и т.д.), либо быть рассеяны в почвенной массе. Кирпичи имеют разную степень сохранности (целые или фрагменты), нередко на них остается прилипший строительный раствор. Плотные прослои кирпичей создают механический барьер для проникновения корней и почвенных беспозвоночных и

затрудняют влагоперенос в почвенной толще. Известковый строительный раствор формирует локальный геохимический барьер, на котором происходит осаждение гидроксидов железа. Дисперсные частицы этого раствора способствуют подщелачиванию городских почв. Мелкие осколки стекла также часто встречаются во всех городских почвах, однако крупные фрагменты (горлышки и днища бутылок, аптечные пузырьки и т.д.) обычно приурочены либо к местам производства стеклянных изделий, либо к горизонтам, насыщенным бытовым мусором. Отличительной чертой стекла XVIII в. является пленка иризации. Металлические фрагменты могут встречаться в составе как строительного (гвозди, заклепки, засовы и т.п.), так и бытового мусора (пуговицы, пряжки, ножницы и т.д.). Металлические изделия могут способствовать формированию в почве локальных геохимических аномалий. Кости и их фрагменты регулярно встречаются в культурном слое, обычно в нижней его части, что скорее всего связано с бытовыми привычками горожан XVIII в. К костной ткани бывают приурочены новообразования карбоната меди. Перечисленные артефакты являются наиболее распространенными. В целом, разнообразие артефактов в городских почвах очень велико и зависит от истории землепользования и времени формирования слоя (в современных слоях, кроме перечисленных компонентов, встречаются пластик, окурки сигарет, упаковка из синтетических материалов). Разработка подходов к количественному учету и исследованию антропогенных включений необходимы в целях прогнозирования водного, теплового, трофического режимов, а также моделирования процессов в городских почвах. Поскольку включения влияют на химические характеристики почвы, их необходимо учитывать при санитарно-гигиенической оценке территории и оценке пригодности почв для зеленых насаждений.

УДК 631.437.8

ПОВЕРХНОСТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ Г. ПЕРМЬ, ПЕРМСКОГО КРАЯ

Щуренко Н.М., Васильев А.А.

ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, Пермь, e-mail oinatasha@mail.ru, a.a.vasilev@list.ru

Поверхностные горизонты лесных почв крупных промышленных городов аккумулируют тяжелые металлы (ТМ) в составе техногенных магнитных частиц (ТМЧ). Изучение магнитной восприимчивости (МВ) поверхностных горизонтов почв актуально для оценки загрязнения почвенного покрова г. Пермь. Морфология и валовой химический состав ТМЧ почв городских лесов г. Пермь пока остаются изученными не в полной мере.

Были исследованы почвы под пологом лесов южной тайги Пермского края на следующих территориях: ООПТ «Осинская лесная дача» (Осинский городской округ) – региональный фон, ООПТ «Черняевский лес» (г. Пермь), Экологическая тропа Чапаевская (г. Пермь).

Выбор объектов исследования обусловлен разной степенью техногенной нагрузки на почвы. Изучены физико-химические свойства, гранулометрический состав, МВ (КТ-6, SatisGeo), валовой химический состав (iCE 3500 с пламенной атомизацией, Thermo Scientific), выполнен электронно-зондовый микроанализ частиц магнитной фракции (FEI Quanta 650FEG).

Установлены различия значений МВ, морфологии магнитных частиц и валового химического состава лесных почв на территориях с разной техногенной нагрузкой.

Псаммоземы гумусовые ООПТ «Осинская лесная дача» (региональный фон)

сформировались в отдалении от крупных промышленных центров Пермского края. Средняя величина объемной магнитной восприимчивости (α) горизонта A_0 составляет – $0,17 \times 10^{-3}$ СИ, в горизонте W α выше – $0,26 \times 10^{-3}$ СИ. Профильное распределение α характерно для естественных почв южной тайги – слабоаккумулятивное. Валовое содержание ТМ не превышает ПДК. Концентрация Zn в горизонте A_0 – 27,3 мг/кг, в горизонте W – 20,5 мг/кг, что выше, чем в материнской породе. В составе магнитной фракции мелкозема абсолютно

преобладают литогенные частицы полиэдрической формы, валовое содержание Fe в их составе – 44%, Ti – 1-23%, Cr – 1-30%. Урбо-псаммозёмы гумусовые ООПТ «Черняевский лес» испытывают умеренную техногенную нагрузку. Величина α в горизонте W_{0ur} – $0,58 \times 10^{-3}$ СИ, в W_{1ur} – $0,29 \times 10^{-3}$ СИ. Горизонт W_{0ur} обогащен Zn (158,9 мг/кг), Pb (77,1 мг/кг), Cu (28,9 мг/кг) и Ni (27,9 мг/кг). Концентрация этих элементов в горизонте W_{0ur} значительно выше, чем в горизонтах W_{1ur} и С. В составе частиц магнитной фракции преобладают сферические ТМЧ с валовым содержанием Fe более 50%, которые также обогащены Ti, Cr, Ni, Cu, Zn. Урбо-серогумусовая почва экологической тропы Чапаевская испытывает наиболее сильное воздействие выбросов промышленных предприятий г. Пермь. Распределение значений α в профиле поверхностно-аккумулятивное: в A_{0ur} – $2,83 \times 10^{-3}$ СИ, в A_{1ur} – $2,46 \times 10^{-3}$ СИ, в С – $0,28 \times 10^{-3}$ СИ. Концентрация Zn и Cu составляет в горизонте A_{0ur} около 80 мг/кг, а в горизонте A_{1ur} – около 60 мг/кг, что значительно выше, чем в горизонте С. В составе магнитной фракции 70% частиц – сферулы, с типичной для ТМЧ морфологией их поверхности. Таким образом, поверхностные горизонты почв городских лесов г. Пермь проявляют себя как естественный барьер и аккумулируют техногенные поллютанты.

(Е) III КОМИССИЯ. БИОЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ И КАШТАНОВЫХ ПОЧВ

Алексеева М.Г., Тхакахова А.К., Ксенофонтова Н.А., Семенов М.В.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Лаборатория почвенного углерода и микробной экологии, Москва, email: maria_alekseeva999@mail.ru

Баланс углерода в почве в значительной степени определяется процессами ассимиляции и диссимиляции микроорганизмами органического вещества. Различные типы землепользования, особенно в условиях изменяющегося климата, трансформируют микробные сообщества почв, что может приводить к сдвигу углеродного баланса и потере плодородия почв. Оценка обилия микроорганизмов и показателей микробного катаболизма и анаболизма могут быть информативными для определения тенденций, вызванных изменением или практикой определенного типа землепользования. Целью исследования было изучение влияния типа сельскохозяйственного землепользования на микробиологические свойства черноземов и каштановых почв.

Исследование проводилось с агрочерноземами сегрегационными Ростовской области, агрочерноземами глинисто-иллювиальными Самарской области, а также агрокаштановыми солонцеватыми почвами и агроземами аккумулятивно-карбонатными солонцеватыми Волгоградской области. Рассматривались следующие типы сельскохозяйственного землепользования и обработки почвы: залежь, пашня, no-till, пашня-богара, пашня-орошение. Влияние землепользования изучалось для четырех глубинах: 0-5, 5-10, 10-20 и 30-40 см. Численность копий генов архей, бактерий и грибов определяли с помощью количественной ПЦР. Углерод микробной биомассы оценивали методом субстрат-индуцированного дыхания. Также оценивали базальное дыхание микроорганизмов и физиологический коэффициент qCO_2 .

Численность архей и бактерий была выше в 1.5-2 раза в слоях 0-5 и 5-10 см по сравнению с нижележащими слоями, при этом в пахотных почвах больше всего бактерий и архей было в подповерхностном слое 5-10 см. В агроземах общее количество всех микроорганизмов было наименьшим по всей глубине профиля и соответствовало величинам, характерным для слоя 30-40 см других исследованных типов почв, составляя около 10^{10} копий /г почвы для архей и бактерий и 2×10^7 копий /г почвы для грибов. Наибольшая численность грибов в агрочерноземах сегрегационных и агрокаштановых солонцеватых почвах наблюдалась в условиях пашни, достигая $3-4 \times 10^8$ копий /г почвы.

Величины углерода микробной биомассы агрочерноземов и агрокаштановых почв снижались на 50% от поверхности к слою 30-40 см, при этом в агрокаштановых почвах различие между слоями сильно нивелировалось в условиях пашни по сравнению с залежью. В агроземах величина S_{mic} была в 2 раза ниже (400 мкг С/г) по сравнению с остальными типами почв, и почти не изменялось вниз по профилю.

Целинные агрочерноземы характеризовались наибольшими значениями базального дыхания (0.8-1 мкг CO_2 -С/г почвы в час) и микробного метаболического коэффициента qCO_2 (1.15 – 1.30).

Таким образом, микробный углерод и численность генов основных групп микроорганизмов являются диагностическими показателями изменений в содержании органического углерода в почве, вызываемыми разными типами сельскохозяйственного землепользования.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022-0018).

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ПИРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА ПОЧВ ЮГА РОССИИ В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Вилкова В.В., Казеев К.Ш.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, lera.vilkova.00@mail.ru;
kamil_kazeev@mail.ru

С каждым годом пирогенный фактор становится все более острой угрозой состоянию лесных экосистем. Чаще всего в лесах России возникают и распространяются низовые пожары, оказывающие разрушительное воздействие на свойства почв, что приводит к снижению эффективности всех экосистемных процессов. Основными пирогенными факторами являются: огонь (низкотемпературная плазма), пламя, продукты сгорания, инфракрасное облучение и дым от продуктов горения. Модельные эксперименты имеют ряд преимуществ: появляется возможность исследования отдельных характеристик фактора, как, например, длительности и интенсивности воздействия.

Цель работы – изучение влияния пирогенного воздействия на экологические параметры бурозема кислого, коричневых почв, чернозема обыкновенного в модельном эксперименте в полевых условиях.

Модельные эксперименты проведены в трех разных экосистемах (мезофитные леса на территории Республики Адыгея, ксерофитные леса на территории Краснодарского края, залежь и сосновый лес на территории Ростовской области) на трех типах почв: бурозем кислый, коричневая почва, чернозем обыкновенный. В ходе проведения эксперимента были выделены мониторинговые площадки 40 × 40 см. Всего заложено 24 площадки. Пирогенный фактор моделировали пламенем пропановой горелки в течение 5 минут. Отбор почвенных образцов произведен из слоя 0–3 см в день проведения модельного эксперимента после остывания поверхности почвы в трехкратной повторности для каждой площадки.

Экологические параметры постпирогенных почв исследованы в первую неделю после отбора. Были исследованы ферментативная активность почв (активность каталазы, дегидрогеназ, уреазы, инвертазы) и содержание органического углерода. Также произведен расчет интегрального показателя биологического состояния почв.

Установлено, ферментативная активность бурозема характеризуется меньшей устойчивостью к пирогенному повреждению. Так, в ходе проведения исследований активности каталазы после 5 минут воздействия пламени пропановой горелки для чернозема обыкновенного не установлено достоверных отличий от контрольных значений. Для бурозема отмечено снижение активности фермента на 35%, а для коричневых почв – на 29%. Активность дегидрогеназ бурозема снижена на 25% относительно контрольных значений. Для участка соснового леса Ростовской области отмечено, наоборот, повышение активности. Активность инвертазы снижена для всех исследуемых почв в среднем на 33%. Активность другого фермента из класса гидролаз, уреазы, также снижена для всех исследуемых почв в среднем на 35%. Установлено достоверное снижение содержания органического углерода бурозема на 39% относительно контрольных значений. Для других типов почв изменения недостоверны.

В ходе проведения модельного эксперимента визуально отмечали потемнение поверхности почвы, что свидетельствует о расщеплении темноокрашенных гуминовых кислот. При расчете интегрально показателя биологического состояния почв установлено снижение показателя в среднем до 73%, что свидетельствует о неблагоприятном состоянии почв и существенном нарушении экосистемных функций после пирогенного воздействия в течение 5 минут.

В результате проведения модельного опыта по изучению влияния пирогенного воздействия в течение 5 минут на свойства трех типов почв в трех разных экосистемах установлено значительное нарушение экосистемных функций почв.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (№FENW-2023-0008).

УДК 631.487

МИКРОБИОМ МИКРОВЕГИТАЦИОННОГО ОПЫТА ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ПШЕНИЦЫ НА ЗАЛЕЖНЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Гладков Г.В.^{1,2}, Кимеклис А.К.^{1,2}, Поляков В.И.¹, Балакина С.В.³, Иванов А.А.³, Чеботарь В.К.², Андронов Е.Е.^{2,4}, Абакумов Е.В.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
g.gladkov@spbu.ru, akimeklis@s.pbu.ru, v.polyakov@spbu.ru, e.abakumov@spbu.ru

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», Пушкин, Россия, arriam2008@yandex.ru, eandronov@arriam.ru

³Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»,
balakina.swetlana2010@yandex.ru, lenniish@mail.ru

⁴Почвенный Институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

Для изучения потенциала залежных почв Северо-Запада России был проведен лабораторный эксперимент по изучению таксономического состава микробиома пшеницы на контрастных почвах залежей и их пахотных аналогах. В рамках эксперимента в тепличных условиях выращивали пшеницу сорта Ленинградка 6 на агрогенных почвах, отобранные в Сиверском районе Ленинградской области близ деревни Лязево, с вариантами применения биопрепарата Экстрасол (ООО "Бисолби Плюс", Россия). Всего было использовано три варианта агрогенных почв на моренных девонских глинах: агродерновая подзолистая залежная краснопрофильная, отобранная на двадцатилетней залежи, агрозем красноцветный с действующего поля, дерново-подзолистая красноцветная, отобранная в фоновом лесу. Пробы почвы для анализа микробиома были отобраны как перед постановкой опыта, так и в конце после сборки урожая. Из образцов почвы была выделена ДНК и проведена подготовка ампликонных библиотек гена 16S рРНК для секвенирования на платформе Illumina Miseq. Для этих же образцов определяли основные агрохимические параметры (рН, нитратный азот, аммонийный азот, фосфор, калий) и выявлялось их влияние на микробиом почвы. На полевой почве пшеница показала максимальную массу стеблей и колосьев и максимальное количество колосьев. Пшеница, выращенная на лесной почве, дала максимально низкие показатели по всем параметрам. Пшеница на залежной почве дала минимальное количество колосьев по сравнению с полем и лесом, однако масса колосьев приближалась к варианту поля. Для вариантов пшеницы на поле удалось зафиксировать положительное влияние препарата «Экстрасол» на все оцениваемые параметры урожайности, когда как для вариантов на залежи было отмечено снижение массы стеблей в вариантах с обработкой.

Микробные почвенные сообщества сгруппировались по типу почвы: наиболее сильные различия были показаны между агрогенными почвами и контрольной дерново-подзолистой, микробные сообщества между почвами залежи и поля различались меньше. Не показано достоверных различий изменения в микробиоме пшеницы с применением и без применения препарата. Общий таксономический профиль исследуемых почв отличается высокой представленностью представителей фил Acidobacteriota, Verrucromicrobiota, Pseudomonadota и Bacteroidota. Широко представлены неидентифицированные микроорганизмы. Таксономический состав между агрогенными почвами схож между наиболее представленными микроорганизмами, но значительно отличается на уровне минорной компоненты сообщества. Представители родов *Flavobacterium*, *Ferruginobacter* и других бактериодот характерны скорее для пахотной почвы, для залежной характерны

неидентифицированные ацидобактерии, Gemmatimonodata, хлорофлексоты. На основе данных канонического корреляционного анализа (ССА) было показано, что основные факторы, разделяющие почвы между собой, - это увеличение в агрогенных почвах нитратов, фосфора и калия, и высокое содержание аммония в лесной почве. Как ни странно, роль рН оказалось незначительной, за исключением, описанным выше. Различия между микробиомами залежной и пахотной почв не ассоциированы с проанализированными агрохимическими факторами.

Полученные результаты показывают схожесть таксономического профиля микробиома залежных почв и используемого поля, относительно фоновой дерново-подзолистой почвы, никогда не находящейся в сельскохозяйственном обороте. Однако, ответ почвенной микрофлоры залежных почв на выращивание пшеницы по сравнению с контрольной почвой соответствует фоновой дерново-подзолистой почве. А именно, выращивание пшеницы вносило гораздо более существенные изменения в микробиом лесной и залежной почв, чем в микробиом активной пахотной почвы. Кроме того, пшеница, выращенная в залежной почве, также как и в фоновой почве, не увеличила продуктивность при использовании микробного препарата.

Исследование было выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-16-20003 (соглашение от 20.04.2023) и гранта Санкт-Петербургского научного фонда № 23-16-20003 (соглашение от 05.05.2023).

УДК 631.46–576.8

АКТИНОМИЦЕТЫ ЭУТРОФНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ: ОБИЛИЕ, РАЗНООБРАЗИЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Головченко А.В., Грачева Т.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: golovchenko/alla@gmail.com; tanyadunaeva12@mail.ru

Актиномицеты производят 45% (более 10 000) от всех биологически активных веществ микробного происхождения. Широкомасштабное использование актиномицетов в биотехнологии обуславливает интерес к изучению их распространения в природе, поскольку формирование актиномицетных комплексов тесно связано с происхождением и свойствами почв и экосистем в целом. Изучение актинобиоты в почвах различных природно-климатических зон и географических районов позволяет оценить региональный потенциал актиномицетов для использования их в биотехнологических производствах.

Для расширения знаний о биоразнообразии болотных экосистем и выявления культур микроорганизмов с высоким функциональным потенциалом было проведено изучение актиномицетных комплексов низинных торфяников различного генезиса.

Объекты исследования, низинные торфяники озерного, лесного и пойменного заболачивания, расположены в Тверской и Томской областях (Россия). Согласно “Классификации и диагностике почв России”, 2004 они отнесены к типу эутрофных торфяных, подтипу перегнойно-торфяных и типичных мощных почв, по WRB – Sapric Histosols. Мощность профилей – 3 метра. Среди подстилающих пород – сапрпель, глей, суглинки.

Длину и биомассу актиномицетного мицелия выявляли люминесцентно-микроскопическим методом, численность культивируемых актиномицетов – методом посева на среду Гаузе-1. Видовую идентификацию актиномицетов проводили на основании фенотипических признаков и анализа фрагментов 16S рРНК. О гидролитической активности судили по появлению зон обесцвечивания при росте актиномицетов на средах с целлюлозой и хитином. Антагонистическую активность определяли методом агаровых блоков.

На первом этапе были проанализированы полные профили исследуемых почв.

Люминесцентно-микроскопическим методом актиномицетный мицелий обнаруживали по

всему профилю, его длина варьировала от 0,2 до 3 км/г сухого торфа. Исследуемые почвы различались характером профильного распределения актиномицетного мицелия: в одних вариантах отмечали плавное уменьшение его длины с глубиной, в других – флуктуирование по профилю и наличие пиков в глубоких слоях. Была установлена достоверная зависимость содержания актиномицетного мицелия от ботанического состава и степени разложения торфов, слагающих профили исследуемых почв. Максимальные показатели его обилия выявляли в слоях, представленных торфами травяной группы со степенью разложения <35%. Актиномицетная биомасса в различных горизонтах исследуемых почв варьировала от 22 до 140 мкг/г торфа, её профильные запасы – от 190 до 280 кг/га.

Численность культивируемых актиномицетов колебалась в широком диапазоне – от 10^3 до 10^7 КОЕ/г сухого торфа. Максимальные показатели выявляли преимущественно в эутрофно-торфяном горизонте. Доля актиномицетов составляла 1-26% от общей численности бактерий, учитываемых на среде Гаузе-1.

Из исследуемых почв удалось выделить представителей четырех родов актиномицетов – *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium*, *Streptoverticillium*. Доминирующие по частоте встречаемости представители рода *Streptomyces* были отнесены к 19 видам из 9 серий и 5 секций. У 70% изолятов выявляли способность к микроаэрофильному росту, что свидетельствует об адаптации актиномицетов к дефициту кислорода, существующему в глубоких горизонтах этих почв.

На втором этапе была проанализирована зона основной деструкции органического детрита исследуемых почв, в которую вошли подстилка (О) и эутрофно-торфяной горизонт (ТЕ). По болотной терминологии эта зона без подстилки соответствует деятельному слою торфяников (табл).

Таблица. Соответствия между горизонтами, их глубинами и границами деятельного и инертных слоев исследуемых почв

Глубина, см	Горизонты почвы	Название слоя торфяника
10-0	О (L+F) Подстилка	Деятельный слой
0-20	ТЕ	
20-30	Эутрофно-торфяной горизонт	Инертный слой
30-50		
50-75		
75-100		
100-150		
150-200	ТТ Торфяная толща	Инертный слой
200-250		
250-300		
>300 см	G/S Глей / Сапрпель	Подстилающая порода

} Зона основной деструкции органического детрита

Подстилка в исследуемых лесах – двухслойная. Слой L – листовый и хвойный опад, слой F (ферментативный) – сильно измельчённые, затронутые разложением остатки растений.

Эутрофно-торфяной горизонт представлен различными видами низинных торфов сильной и средней степени разложения, $pH_{\text{сол}}$ близка к нейтральной, содержание общего углерода колеблется от 41 до 50%, азота – от 2,5 до 4%.

В зоне основной деструкции органического детрита исследуемых почв длина актиномицетного мицелия варьировала от 0,7 до 4 км/г. Максимальные значения выявляли в ферментативном слое подстилок или в верхней части (0-20 см) горизонта ТЕ.

Запасы актиномицетной биомассы в зоне основной деструкции органического детрита исследуемых почв варьировали от 23 до 60 кг/га. Вклад подстилки в запас актиномицетной биомассы составлял 4–17%, вклад эутрофно-торфяного горизонта – 83–96%.

В зоне основной деструкции органического детрита исследуемых почв численность культивируемых актиномицетов варьировала от 10^4 до 10^7 КОЕ/г сухого торфа. В подстилках она была на 1-2 порядка выше, чем в эутрофно-торфяном горизонте. Актиномицеты, выделенные из зоны основной деструкции органического детрита исследуемых почв, принадлежали к родам *Streptomyces* и *Micromonospora*. Представители доминирующего рода *Streptomyces* были отнесены к 39 видам из 12 серий и 5 секций. Видовое сходство актиномицетных комплексов рассматриваемых горизонтов и почв оказалось низким (коэффициент Серенсена не превышал 17%), что свидетельствует об их специфичности, а также уникальности почв, из которых они выделены. Целлюлозолитическую активность выявляли у 82% изолятов, хитинолитическую – у 26%. Культуры стрептомицетов с высокой гидролитической активностью – *S. bikiniensis*, *S. varsoviensis* и *S. alboflavus*.

Более 40% выделенных культур стрептомицетов проявляли антагонистическую активность одновременно в отношении бактерий и грибов, выделенных из исследуемых почв, и коллекционных условно-патогенных культур. Антифунгальная активность изолятов оказалась выше их антибактериальной активности. Широким спектром действия (ингибировали рост $\geq 50\%$ рассматриваемых коллекций тест-культур) обладали штаммы *S. globisporus*, *S. sindenensis*, *S. xantochromogenes*.

Полученные результаты указывают на значительный потенциал стрептомицетов, выделенных из зоны основной деструкции органического детрита эутрофных торфяных почв, в производстве препаратов с антифунгальным и целлюлазным действием. Перспективным природным объектом для выделения культур стрептомицетов с высоким функциональным потенциалом является эутрофная торфяная почва под черноольшанником.

УДК 631.46

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДРЕНАЖА И УДОБРЕНИЙ НА МИКРОБИОМ ОКУЛЬТУРЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Данилова-Данильян Е.М., Никитин Д. А., Тхакахова А. К., Ксенофонтова Н. А., Иванова Е. А., Кутовая О. В., Семенов М. В.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: danilovadanilyanlm@mail.ru

Урожайность сельскохозяйственных культур прямо или косвенно зависит от биологических свойств почвы. Поскольку микроорганизмы во многом определяют их и наиболее быстро реагируют на изменения окружающей среды, качественные и количественные показатели прокариот и грибов часто используют для оценки биологических свойств почвы. Например, применение/отсутствие дренажа создают диаметрально противоположные условия для сохранения влаги и доступности кислорода в переувлажненной почве, что определяет преобладание аэробных или анаэробных групп микроорганизмов. Их соотношение может служить индикатором степени насыщенности почвы кислородом, а также интенсивности таких биологических свойств почвы, как азотфиксация, аммонификация, нитратредукция и др.

Целью исследования была количественная оценка влияния дренажа и минеральных удобрений на таксономические и эколого-трофических группы микробного сообщества агродерново-подзолистой почвы и ризосферы сельскохозяйственных культур.

Объекты исследования - агродерново-подзолистые глееватые почвы на суглинках (поля ФГБНУ Всероссийский НИИ мелиорированных земель (ВНИИМЗ) Калининского района Тверской области). Образцы почв отбирали из вариантов опыта без внесения удобрений и с применением минеральных удобрений (N90P90/K90 под озимую пшеницу с подсевом клевера, K60 под клевер, N70K180 под картофель). Отбор образцов почвы проводили в мае. Отбор почвы производили в двух локусах: в ризосфере вегетирующих растений и в междурядье (в случае картофеля – на расстоянии 10–15 см от высаженного клубня).

Учет экологических групп микроорганизмов осуществляли методом посева почвенной суспензии на твердые элективные среды: мясопептонный агар (МПА – бактерии-аммонификаторы), крахмалоаммиачный агар (КАА – амилаolitikи), голодный агар (ГА – олиготрофные бактерии, актиномицеты и микромицеты), среду Чапека (ЧА – микроскопические грибы); среду Эшби (аэробные азотфиксаторы); методом предельных разведений на жидких средах учитывали: анаэробных диязотрофов (среда Виноградского), группу нитратного дыхания (среда ГНД). Численность КОЕ и таксономический состав культивируемых микроскопических грибов определяли методом глубинного микробиологического посева. Общее α -разнообразие грибных сообществ оценивали по индексу Шеннона. Обилие бактерий и архей проводили с использованием ПЦР-РВ (на приборе CFX96 Bio-Rad, USA), ДНК выделяли с использованием коммерческого набора реагентов HighPure Soil DNA Kit, MaGen (China). Биомассу грибов оценивали с использованием метода люминисцентной микроскопии. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программ Microsoft Office Excel 2019 и Statistica 10.0.

По данным ПЦР в реальном времени, в вариантах с посевами клевера отмечалось более высокое обилие прокариотного компонента (бактерий и архей). В вариантах с озимой пшеницей на обилие бактерий влияют фактор локуса пробоотбора (отмечено увеличение в ризосфере), применение удобрений и дренаж (увеличение в 3-4 раза). В случае картофеля наблюдалась лишь слабая тенденция уменьшения обилия бактерий и архей в вариантах с применением дренажа, при этом локус отбора образцов статистически значимого влияния на количество прокариотного компонента не оказывал.

Показано существенное влияние сельскохозяйственной культуры, в основном, клевера, на обилие микроорганизмов большинства исследуемых эколого-трофических групп.

Наблюдалась также тенденция увеличения активности аммонификаторов, микроорганизмов азотного цикла – анаэробных азотфиксаторов и денитрификаторов и биоразнообразия микромицетов в вариантах применения удобрений. Негативные тенденции фактора отсутствия дренажа обнаружены главным об в биоразнообразии грибов и аммонификаторов, также снизилась активность анаэробной азотфиксации.

Биомасса грибов минимальна (197 и 199 мкг/г почвы) в вариантах «картофель есть удобрения есть дренаж» и «озимая пшеница + клевер, нет удобрений, есть дренаж», а максимальна (789 мкг/г почвы) – в варианте «озимая пшеница+клевер, нет удобрений, нет дренажа». Микроскопические грибы имели суммарную численность в каждом из образцов от 2.41×10^4 КОЕ/г почвы в варианте «клевер, есть удобрения, без дренажа» до 1.93×10^5 КОЕ/г почвы в варианте «картофель, есть удобрения, без дренажа». Наибольшим видовым разнообразием характеризовались роды *Penicillium* (3 вида), *Acremonium*, *Fusarium* и *Cladosporium* (по 2 вида). По численности и обилию доминировали фитопатогенные (*Acremonium*, *Cladosporium* и *Phoma*) и сапротрофные (*Paecilomyces*, *Penicillium*) роды. Суммарно из исследованных образцов выделено 24 вида микромицетов, относящихся к 18 родам из 2 отделов, а также 1 типа гиалинового стерильного мицелия. Вариант «картофель без удобрений, без дренажа» характеризовался минимальным числом видов – 2, в то время как в варианте «картофель, есть удобрения, без дренажа» обнаружено 13 видов. Из большинства образцов выявлено по 7-9 видов. По численности и обилию доминировали фитопатогенные (*Cladosporium cladosporium* (до 1.00×10^4 КОЕ/г почвы и до 9%), *Clonostachys rosea* (до 1.00×10^4 КОЕ/г почвы и до 25%), *Fusarium solani* (до 5.75×10^3 КОЕ/г почвы и до 14%) и сапротрофные *Mucor hiemalis* (до 3.50×10^3 КОЕ/г почвы и до 6%), *Penicillium aurantiogriseum* (до 5.00×10^4 КОЕ/г почвы и до 91%), *Penicillium commune* (до 1.65×10^4 КОЕ/г почвы и до 28%), *Penicillium chrysogenum* (до 2.63×10^4 КОЕ/г почвы и до 54%) роды. Доминанты отмечены преимущественно для вариантов полей с дренажом и без удобрений. Значения индекса Шеннона микромицетов изученных почв варьировали от 1.19 до 2.30. Минимальное α -разнообразие отмечено в варианте «картофель, без удобрений, без дренажа». Максимальные значения индекса Шеннона для микромицетов выявлены в

варианте «озимая пшеница + клевер, есть удобрения, нет дренажа». Высокое α -разнообразие (более 2 по индексу Шеннона) также обнаруживалось в образцах «картофель, есть удобрения, есть дренаж»; «клевер, без удобрений, есть дренаж»; «картофель, есть удобрения, без дренажа»; «озимая пшеница + клевер, без удобрений, нет дренажа».

Полученные данные свидетельствуют о том, что главенствующим фактором, ответственным за рост микроорганизмов, является вид растения, при этом локус отбора и дренаж имели подчиненное значение. Значительная часть обнаруженных видов микромицетов (около четверти) входит в базу данных BSL патогенных для человека и животных видов. Данное явление свидетельствует о чрезмерной антропогенной нагрузке на рассматриваемые сельскохозяйственные угодья и может сделать их санитарно-небезопасными. Относительно высокое количество (около 38%) фитопатогенных видов микромицетов в исследованных почвах, по-видимому, является следствием длительного возделывания монокультуры того или иного растения на исследуемых полях.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022-0018).

УДК 579.266.4

ПРЕДСТАВЛЕННОСТЬ СУЛЬФИТРЕДУКТАЗ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ГЕНОВ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ЭТАПА ЦИКЛА СЕРЫ В МЕТАГЕНОМАХ ПОЧВ ООПТ ЮГА РОССИИ

Дёмин К. А.

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону, email: i@kincognita.ru

Благодаря распространившимся в последние пятнадцать лет методам метагеномного анализа микробиологи и экологи получили возможность изучать природные микробсообщества на недоступном ранее уровне. Опубликовано значительное количество работ, посвященных изучению циклов элементов и опосредующих их микробных сообществах в различных экосистемах. Наиболее масштабные изменения коснулись представлений о цикле серы. Было выявлено значительное, ранее неизвестное разнообразие микроорганизмов с диссимиляционным метаболизмом серы, обитающих в морях, донных осадках, тундровых, пресноводных и заболоченных экосистемах. Были расширены представления о видовом и функциональном разнообразии бактерий, восстанавливающих неорганические соединения серы. Несмотря на это, микробиоте серного цикла в почвенных экосистемах до сих пор уделяется недостаточно внимания.

В данной работе был проведён скрининг и анализ метагеномов различных типов почв, представляющих особо-охраняемые природные территории Ростовской области. С глубины 0-20 см были отобраны образцы аллювиальных (n=3) почв, каштанозёмов (n=4), солонцов (n=3), чернозёмов (n = 18) и солончака (n = 1). Тотальная почвенная ДНК была выделена набором *FastDNA Spin Kit For Soil* и секвенирована на платформе MGI (Complete Genomics). Контроль качества сырых прочтений проводился с помощью Trimmomatic, сборку длинных фрагментов ДНК – с помощью программы MEGANIT. С помощью программы DiSCo были предсказаны регионы, кодирующие гены сульфитредуктаз и дополнительных ферментов диссимиляционного метаболизма, а также их гипотетический тип активности (восстановление, дисмутация или окисление). Анализ и визуализация проводились в программной среде R 4.4.0.

Результаты анализа представлены на рисунке 1.

Было обнаружено, что в метагеномах всех типов почв представлены разнообразные (Sat нескольких типов, AprAB, HdrABC, QmoABC), в том числе минимально необходимые (Sat,

Apr) гены активации сульфата и его восстановления в сульфит. Непосредственно гены восстановления сульфит-аниона в сульфид (сульфитредуктазы DsrABC и ассоциированные с ними белки транспорта электронов DsrMKJOP) были представлены лишь в трёх типах почв: аллювиальной темногумусовой, солонце и солончаке. Данные почвы характеризуются активным гидроморфизмом, а значит, гипоксическими условиями, что может способствовать развитию сульфат-восстанавливающих микроорганизмов ввиду того, что они являются анаэробами. В образцах солонцов и солончака представлены сульфитредуктазы как окислительного, так и восстановительного типа. Гены сульфитредуктаз в метагеномах аллювиальных почв соответствуют только окислительному типу, а значит, наиболее вероятно принадлежат микроорганизмам, осуществляющим обратные реакции: окисления элементарной серы и сульфидов в сульфит. Интересно, что в метагеноме солончака обнаружены фрагменты ДНК, кодирующие ген DsrL дисмутационного типа, что указывает на существование в микробоценозе данной почвы микроорганизмов, способных к диспропорционированию соединений серы, таких как сульфат, сульфит и тиосульфат. Наконец, в нескольких образцах чернозёмов, солонцов и аллювиальных почв обнаружались гены окислительного типа (Sat, Apr, DsrM), принадлежащие к группе Chlorobi: бактериям, осуществляющим сероводородный фотосинтез. При этом, отсутствие конкретных генов или их типов в образцах почв не указывает на полное отсутствие соответствующего метаболизма в данных почв, однако указывает на их недопредставленность в образцах тотальной ДНК.

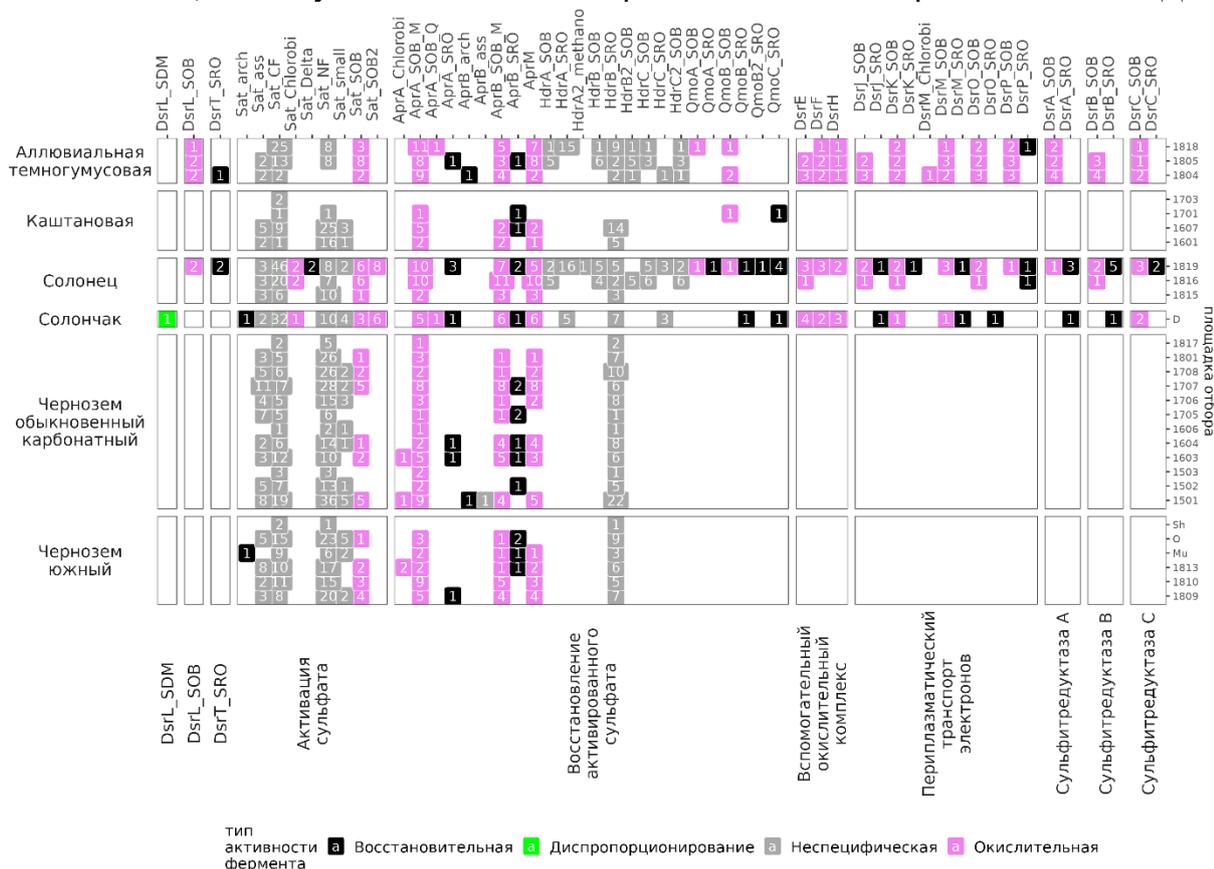


Рисунок 2. Представленность и тип сульфитредуктаз и вспомогательных ферментов цикла серы, кодируемых почвенной микробной ДНК. По оси абсцисс отложены гены, по оси ординат – площадка отбора. Оси поделены на группы в соответствии с функцией фермента и типом почвы соответственно. Числа на пересечении генов и площадок отражают число копий данного гена в метагеноме образца.

Из полученных данных следует, что определяющим фактором в представленности и разнообразии генов восстановления серы в почвах является их гидроморфный режим. Возможным ограничением данной работы является глубина отбора почвенных проб.

Изучение состава микробиоты более глубоких почвенных горизонтов даст больше информации о той части микробиоты серного цикла, которая представлена облигатными анаэробными видами.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122.

УДК 631.468,467:591.5(470.13)

ДЕСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ ПОЧВЕННЫМИ БЕСПОЗВОНОЧНЫМИ НА ВЫРУБКАХ

Дитц А.А., Фатеева А.А.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, kolesnikova@ib.komisc.ru

Почвенная фауна и среда ее обитания – это единственная универсальная, но достаточно сложная, таксономически разнообразная и количественно богатая биологическая система, сохраняющаяся в окружающей среде даже в условиях самых глубоких преобразований. Почвенные беспозвоночные участвуют в почвообразовании, создании и сохранении плодородия почв, возвращении в почву питательных веществ, вынесенных из нее растениями, и являются неотъемлемой частью единой системы трофических связей. Состояние почвенной фауны отражает процессы, протекающие в почве. Изучение влияния рубок на почву и обитающих в ней беспозвоночных актуально из-за возрастающего освоения природных экосистем. Сокращение почвенного биоразнообразия может ухудшить такие важные экосистемные функции, как осуществление круговорота веществ между наземными и подземными сообществами.

В Республике Коми к настоящему времени более 25% лесной территории затронуто различными способами рубок. Сукцессионный ряд исследуемых рубок представлен «открытой» стадией (1-3-летняя вырубка, пасечные участки и волока – с тремя (3П) и десятью (10П) проходами техники, рекультивируемые (10Р)), «зрелыми» листовыми насаждениями (27- и 55-летняя вырубки, пасечные участки и волока), контрольными ельниками 130-160 лет, всего 10 участков. С пасек происходит вырубка деревьев и их изъятие Харвестером. Такие участки считаются наименее нарушенными, так как почвенный покров здесь не подвергается воздействию колесной лесозаготовительной техники. Более интенсивное воздействие испытывают трелевочные волока, по которым осуществляется многократный проезд техники. Это наиболее нарушенные участки на вырубке, на которых заметны изменения напочвенного покрова и почв, возникающие при трелевке древесины Форвардером.

Для выявления роли беспозвоночных в деструкции растительных остатков применяли "байт-ламина" тест и метод определения потери массы в пробах растительного материала, изолированного нейлоновой сеткой (litter bag). Байт-ламина представляют пластинки с дырочками, заполненными целлюлозой, по степени выедания которых (в процентном соотношении) можно оценить скорость деструкции субстрата всей почвенной биотой, включая микробиоту. Метод определения потери массы в пробах растительного материала, изолированного нейлоновой сеткой, позволяет дифференцировать степень участия разных размерных групп беспозвоночных в процессе деструкции. В эксперименте использовали сетку 1.5 мм в диаметре, так как в отверстия с диаметром более 1.0 мм проползают микроартроподы, дождевые черви, личинки насекомых, неполовозрелые диплоподы. Размер сеток (10x10 см) соответствовал размеру почвенно-подстилочных проб, подходящих для учета мелких и крупных беспозвоночных. Скорость разложения растительных остатков оценивали по разнице сухой массы испытуемого материала (смесь листьев березы и хвой ели). В растительных остатках, изъятых из нейлоновых сеток, наряду с потерей их массы определяли состав и численность беспозвоночных.

Закладка ламин в августе 2023 г. на две недели показала, что средняя скорость деструкции высока в листовенных насаждениях, сформированных на 27- и 55-летней вырубках, несколько ниже в контрольных ельниках, на пасечных участках и волоках 3П и 10П, низкая на волоках 10Р 3-летней вырубки. Следующая закладка ламин будет осуществлена во второй половине мая 2024 г., чтобы сравнить скорость деструкции растительных остатков осенью и весной. Нейлоновые сетки также были заложены на исследуемых участках в августе 2023 г.

УДК 595.142.39 (631.468.514.239)

ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ (OLIGOSCHAETA, LUMBRICIDAE) ЗОНАЛЬНЫХ И ГОРНЫХ ПОЧВ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ

Зенкова И.В.¹, Рапопорт И.Б.²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Мурманская область; e-mail: i.zenkova@ksc.ru;

²Институт экологии горных территорий им. Темботова РАН, Нальчик, КБР; e-mail: rap-ira777@rambler.ru

Дождевые черви (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*), как ключевая группа сапрофильного комплекса, участвующего в процессах биотрансформации органического вещества в почвенном ярусе наземных экосистем, являются объектом многолетнего зоологического мониторинга зональных почв северной тайги, лесотундры и тундры Мурманской области и горных (азональных) почв региона.

Результаты мониторинга, как и литературные данные, свидетельствуют о том, что в зональных подзолах, сформированных на покровной морене, разнообразие и численность этих кальцефильных беспозвоночных ограничиваются природной повышенной кислотностью почв и преобладанием в органогенном горизонте кислого гумуса фульватного типа, а также аэротехногенным загрязнением экосистем кислотосодержащими выбросами крупных промышленных предприятий. На **значительной территории этого заполярного региона в качестве единственного вида люмбрицид неоднократно указывался мелкоразмерный космополит *Dendrobaena octaedra* (Sav.), устойчивый к низким значениям pH и окружающих температур.**

При наличии в древостое листовенных пород (березы, рябины, осины, ивы) и величине pH водной вытяжки не ниже 4.2, наряду с подстилочным *D. octaedra* в лесных подзолах встречаются почвенно-подстилочные виды–космополиты *Lumbricus rubellus* Hoff. и *Bimastos rubidus* (Sav.), а в иллювиально-гумусовых подзолах на озерно-ледниковых песчаных отложениях с $pH_{H_2O} \geq 5$ им сопутствует почвенный *Aporrectodea caliginosa caliginosa* Sav. Как в зональных, так и горных экосистемах региона на разнообразие червей влияет литологический фактор, определяющий различия в гранулометрическом и химическом составе почв. В горных почвах Хибин, сформированных на щелочных нефелиновых сиенитах с богатым минералогическим и химическим составом и отличающихся повышенным содержанием гумуса, в разные годы отмечали от 4 до 6 видов червей: *D. octaedra*, *B. rubidus*, *L. rubellus*, *A. caliginosa*, *Eisenia fetida* Sav и *Eisenia nordenskioldi* Eisen. Присутствие компостного почвенно-подстилочного вида *E. fetida* в окрестностях Полярно-альпийского ботанического сада-института, функционирующего в предгорьях Хибин, можно объяснить сопряженным с его деятельностью завозом растений-интродуцентов, удобрений и грунта, а также особенностями горного климата с высокой годовой суммой осадков и локальных микроклиматических условий.

По результатам почвенно-зоологических работ, выполненных в полевой сезон 2023 г. в рамках реализации ВИП ГЗ*, мы сообщаем о находках двух антропохорных собственно почвенных видов дождевых червей, новых для Хибин, и также связываем их присутствие с деятельностью ПАБСИ.

Еще один новый для региона вид – космополит европейского происхождения выявлен нами на освоенной территории Вайда-губы в тундровой зоне полуострова Рыбачий, т.е. на крайне северной оконечности Мурманской области. Это собственно почвенный кальцефил, широко распространенный в Северной Европе и бореальных лесах северо-востока России, но, в отличие от вышеуказанных видов, редко встречающийся в антропогенных местообитаниях. Сохранение этого кальцефильного вида на давно заброшенной территории бывшей воинской части соответствует природным особенностям почв п-ова Рыбачий, сложенного метаморфизованными осадочными карбонатными породами. Таким образом, для Мурманской области, в границах 67°–70° с. ш., теперь известно не менее девяти видов дождевых червей, восемь из которых зарегистрированы в горных почвах Хибин. Большинство выявленных видов по типу ареала являются космополитами, представителей автохтонной фауны не зарегистрировано.

*Исследования проведены в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6)».

Вторая партия нейлоновых сеток с листьями березы и хвоей ели была заложена на тех же участках в октябре 2023 г., до выпадения снега. Съёмка эксперимента будет проведена через 6-7 месяцев, в мае 2024 г., что соответствует сезонной динамике почвенной фауны. Третья партия нейлоновых сеток с аналогичным содержимым будет заложена в мае 2024 г. По такой схеме эксперимента можно определить вклад почвенных беспозвоночных в разложение растительных остатков на вырубках в осенний, зимний и весенний (= ранне-летний) периоды.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00530, <https://rscf.ru/project/23-24-00530/>.

УДК 579.222

ХАРАКТЕРИСТИКА ШТАММОВ RGR-БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ, И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Иванов Ф.Д., Пуликова Е.П., Бойко М.И., Анохина Л.В., Поздняковский Т.А., Горюнов А.В., Минкина Т.М.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: fivanov@sfedu.ru

Проблема дефицита продовольствия и пригодных для сельского хозяйства территорий усугубляется вместе с тем, как увеличивается численность населения Земли. Согласно оценке ООН, через 30 лет оно составит 9,7 млрд человек. Необходимость достаточного обеспечения населения продуктами питания является вызовом для сельского хозяйства в связи с тем, что в мире не хватает плодородной почвы, а применение минеральных удобрений не является панацеей в связи с их ограниченной эффективностью, истощением запасов сырья и негативным воздействием на почву. В частности, запасы минеральных фосфоритов истощатся через 50-100 лет, собственный фосфор почв находится в виде нерастворимых солей или оксидов. Внесение избыточного количества фосфатов приводит к его выносу со стоками в водоёмы и повышению их эвтрофицированности.

Для решения актуальных проблем растениеводства в данный момент уже используют фитостимулирующие бактерии (Plant Growth Promotion Rhizobacteria - PGPR), которые обладают рядом ценных признаков. Они способны повышать доступность фосфора и калия в почве за счёт солиubilизации их сложно растворимых соединений, синтезировать сидерофоры для хелатирования Fe³⁺, расщеплять сложные органические соединения,

синтезировать фитогормоны для стимуляции растений. В свою очередь, растения воздействует на микробиоту корней через выделение продуктов фотосинтеза, аминокислот и кислот. Однако применение фитостимулирующих бактерий не ограничивается одним только сельским хозяйством, они могут вносить значительный вклад и в поддержку растений в ходе проведения биоремедиации, снижая стресс растений, повышая коэффициент транслокации тяжёлых металлов (ТМ) в растительные ткани и поддерживая увеличение фитомассы. Фиторемедиация является экономически выгодной технологией очистки почв от ТМ, а биологическая стимуляция значительно повышает её эффективность. Таким образом, биогеохимические технологии с применением аборигенных, адаптированных к загрязнению почв RGP-ризобактерий позволят эффективно возвращать слабозагрязнённые почвы в хозяйственный оборот, снижать уровень экологической опасности при высоких уровнях загрязнения и при необходимости могут применяться в сельском хозяйстве. Целью данной работы были выделение и характеристика штаммов ризосферных бактерий, обладающих ценными для растений признаками из загрязнённых почв.

Штаммы PGPR были выделены из ризосферы дикорастущих растений, произрастающих на хронически загрязнённых почвах (техноземов) черноземной зоны, имеющих экстремально высокий уровень загрязнения.

Чистые культуры выделенных прокариот проверяли на способность к отщеплению ионов PO_4^{3-} от органических соединений на среде с rNPP. Способность к солюбилизации нерастворимых минеральных фосфатов определяли путём высева культур на среду NBRIP с $Ca_3(PO_4)_2$, определяли индекс солюбилизации, как отношение диаметра ореола, к диаметру колонии. На основании этого индекса штаммы были классифицированы как имеющие низкую (< 2), умеренную (2 - 4) или высокую (> 4) способность к солюбилизации.

Способность к синтезу ИУК проверяли в жидкой среде с L-триптофаном и реактивом Сальковского, положительным контролем выступала охарактеризованная и запатентованная фитостимулирующая бактерия *Pseudomonas chlororaphis* OV17. Способность к росту в широком диапазоне температур определяли визуально, по росту на плотных питательных средах при температурах 8, 17, 37 и 42 °C на 3 и 7 сутки. Способность к росту в широком диапазоне температур проверяли на среде LB при температуре 7, 15, 30, 37 и 42 °C. Для исключения потенциально фитопатогенных штаммов качественно оценивали гидролитическую активность полученных изолятов в отношении пектина. Использовали среду MP-7 и раствор Люголя для визуализации зон просветления.

Было выделено 17 микробных изолятов из ризосферы растений. Все 100% изолятов как факультативные психрофилы способны к росту при +9°C, однако только 59% способны переживать +37 и только 6% растут при +42°C. 88% изолятов устойчивы к низкому засолению (4% NaCl), доля выросших быстро падает до 53% при 5% NaCl, 18% резистентных при 6% NaCl, оставшиеся 12% изолятов способны к росту при очень значительном засолении в 10% NaCl. 11% обнаруженных штаммов обладали щелочной фосфатазой. 53% изолятов показали низкую способность к солюбилизации неорганических фосфатов, 29% показали среднюю способность и только 18% показали высокую способность к солюбилизации фосфатов. 41,2% изолятов обладали удовлетворительной (не менее 60% от активности положительного контроля) способностью и ещё 47,1% изолятов обладали слабовыраженной способностью к синтезу ИУК. Только 11,8% изолятов были способны гидролизовать пектин, однако именно эти изоляты обладали хорошо выраженной способностью к синтезу экзофосфатаз. В целом, 59% изолятов обладают ценными фитостимулирующими свойствами и могут быть использованы для конструирования консорциума и создания биопрепарата для защиты растений. Таким образом, была охарактеризована коллекция потенциально фитостимулирующих микроорганизмов, которые будут использоваться в дальнейших экспериментах по увеличению продуктивности и устойчивости в техноземах таких растений, как *Medicago sativa*, *Elytrigia répens* и др.

Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ ДЕТРИТНОЙ СУБСИДИИ НА СОСТАВ И СТРУКТУРУ МИКОБИОТЫ ЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Иванова Е.А.¹, Ксенофонтова Н.А.¹, Тхакахова А.К.¹, Карпова Д.В.², Стахеев А.А.³, Гончаров А.А.⁴

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: ektrnivanova@gmail.com;

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: karprovad@mail.ru;

³Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова, Москва, e-mail: stakheev.aa@gmail.com;

⁴Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, e-mail: antonio.goncharoff@gmail.com

Основной проблемой, препятствующей эффективности сельскохозяйственного производства, является поражение возделываемых культур широким спектром патогенной микробиоты, существенную долю среди которых занимают почвенные грибы. Одним из приемов управления почвенным микробиомом с целью повышения устойчивости агрофитоценозов, является добавление органических удобрений, в частности детритной субсидии. Считается, что применение органических добавок стимулирует развитие сапротрофной микробиоты, приводя к увеличению антагонистической активности по отношению к патогенам и способствуя повышению уровня общей почвенной супрессивности.

Полевой эксперимент был заложен в апреле 2022 г, длительность оставляла 87 дней. Целью эксперимента была оценка влияния добавления детритной субсидии (смесь компоста и органического полимера - соломы) с разным соотношением C:N на естественное заражение фузариозом озимой пшеницы. Эксперимент был проведен в Краснодарском крае (пос. Белозерный) на черноземно-луговой почве (Luvic Chernoxem Sodic) на двух полях озимой пшеницы (сорт Гомер – восприимчивый к фузариозу). В ходе эксперимента были исследованы 6 экспериментальных режимов: контроль и 5 вариантов смеси соломы и компоста (которые имели соотношения соломы и компоста (C:K) 18:0, 18:3, 18:6, 18:9, 18:12). Число 18 в названии типа мульчи (до двоеточия) относится к количеству соломы и отражает концентрацию 180 гС на кв. метр (гС – граммы углерода, содержащиеся в соломе). Числа от 0 до 12 (после двоеточия) отражают количество углерода (гС), содержащееся в компосте, входящем в состав мульчи. Мульча была добавлена в нулевой день эксперимента (6 апреля 2022). Отбор образцов был проведен непосредственно перед добавлением мульчи, через 16 дней и через 49 дней (фаза цветения). Во время каждого отбора на каждой площадке были проведены учеты биомассы и фитопатологический анализ пшеницы, массы оставшейся на поверхности почвы мульчи, отобраны образцы почвы и мульчи для изучения биомассы фузариевых грибов (методом ИФА). ДНК выделяли с использованием коммерческого набора реагентов HighPure Soil DNA Kit, MaGen (China). Биоинформационную обработку проводили с использованием программного пакета QIIME 1.9.1, статистическую обработку проводили в программе Statistica 10.0.

Обилие и биомасса общих (ПЦР-РВ) и фузариевых грибов (ИФА) во всех вариантах с добавлением мульчи были в целом выше, по сравнению с контрольным вариантом. Варианты с добавлением мульчи 18:3 и 18:9 характеризовались сравнительным повышением обилия общих грибов по сравнению с остальными. Статистических различий в значениях биомассы фузариев между вариантами с добавлением мульчи зафиксировано не было. Аннотация экологических особенностей выявленных грибов на уровне определяемых рода и

вида (76 % всех просеквенированных последовательностей) была проведена с использованием базы FungalTraits (<https://github.com/traitecoevo/fungaltraits>). По данным метабаркодинга, из всех последовательностей на долю патогенной микобиоты приходилось в среднем 20-21%, доля микопаразитов (являющихся потенциальными антагонистами фитопатогенных грибов) составляла в среднем 2.6%, а доля сапротрофных и микоризных грибов в ходе эксперимента в среднем возросла с 35% до 47%, и с 0.1 до 3.4 %, соответственно.

В исследованных образцах наблюдалось уменьшение доли патогенной (потенциально патогенной) микобиоты в ходе проводимого эксперимента, за исключением варианта с добавлением мульчи с соотношением солома:компост (С:К) 18:0, который демонстрировал на 49 день наблюдения увеличение обилия данной группы по сравнению с контрольным вариантом (на 6,5 %). В контрольных образцах количество патогенной микобиоты несколько снизилось на 7 % к концу эксперимента (с 28,5 до 21,2 %). В образцах с добавлением мульчи динамика, по-видимому, зависит от ее состава, т.е. от исходного содержания в ней соломы и компоста. Так, вариант с соотношением 18:6 демонстрировал тенденцию к наибольшему снижению обилия патогенных и потенциально патогенных ОТЕ по сравнению с контролем (на 3,4 %). Данный вариант, а также варианты с добавлением мульчи с соотношением С:К 18:0, 18:6 и 18:9 демонстрировали увеличение доли сапротрофного компонента (в том числе по сравнению с контрольным вариантом – на 5,5, 5,3 и 8,3%, соответственно). Вариант 18:12 в целом демонстрировал сходный тренд, однако относительная доля сапротрофной микобиоты на конец эксперимента была в целом ниже контрольного варианта.

Из фузариевых грибов, по данным метабаркодинга, в исследованных образцах почвы доминировали *F. oxysporum*, *F. tricinctum*, *F. equiseti*. В варианте с добавлением мульчи 18:6 на конец эксперимента были зафиксированы сравнительно минимальные доли *F. oxysporum* (в среднем, 2,9%) и *F. tricinctum* (0,18%). Однако доля *F. equiseti* несколько превышала значение в контрольном варианте (0,78 против 0,34%), отмечено также присутствие в данном варианте последовательностей *F. hostae* (0,49%). В остальных вариантах мульчи в целом отмечено повышенное по сравнению с контролем содержание последовательностей выявленных групп фузариевых грибов.

По данным анализа физиологических параметров растений, в целом количество выявленных случаев и степень корневых поражений (% заболевших растений), увеличивались к концу наблюдаемого периода (к 49 дню). В то же время отмечалась тенденция к снижению этих негативных проявлений заболевания в вариантах с применением мульчи 18:6 – данное наблюдение было справедливо в сравнении как с контролем, так и в случаях с другими исследуемыми вариантами соотношения С:К. При этом, данный вариант характеризовался средним значением показателя количества корневой и максимальным значением обилия наземной биомассы растений.

Таким образом, в ходе эксперимента было показано, что добавление мульчи к исследуемой почве способствует сдвигам в составе и структуре микобиоты, а также вызывает изменение обилия в микробном сообществе групп патогенных и сапротрофных грибов. При этом, исходный состав мульчи также демонстрировал влияние на соотношение выявленных экологических групп микроорганизмов и, тем самым, оказывал косвенное влияние на физиологический статус озимой пшеницы.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (№ 22-76-10027).

УДК 631.4

СНИЖЕНИЕ ИММОБИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА И АЗОТА В МИКРОБНОЙ БИОМАССЕ ПОЧВЫ ПРИ СМЕЩЕНИИ ГОРНО-ЛЕСНОГО ПОЯСА НА СУБАЛЬПИЙСКИЕ ЛУГА

Иващенко К.В., Бабенко Е.Л., Сушко С.В., Квиткина А.К., Ходжаева А.К.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, ivashchenko.kv@gmail.com

Глобальное потепление климата приводит к смещению растительных зон, что особенно заметно проявляется в горных ландшафтах. Исследователи отмечают значительную скорость смещения верхней границы горно-лесного пояса на луга. Вслед за сменой растительного покрова на лугах, вероятно, происходит изменение почвенных процессов, включая круговорот биофильных элементов. Содержание углерода и азота в микробной биомассе ($C_{\text{мик}}$ и $N_{\text{мик}}$) почвы является информативным индикатором при оценке биогеохимических циклов этих элементов в наземных экосистемах. Цель нашего исследования – анализ динамики $C_{\text{мик}}$ и $N_{\text{мик}}$ почвы заповедных и пастбищных субальпийских лугов при смещении верхней границы леса в краткосрочной (1 год) и долгосрочной (десятилетия) перспективах. Для исследования долгосрочной динамики почвенных показателей в августе 2020 г. выполнен отбор образцов из слоя 0-10 см вдоль лесо-луговых трансект трех заповедных и трех пастбищных горных склонов северо-восточной экспозиции на Северо-Западном Кавказе, Карачаево-Черкесская Республика. Краткосрочная динамика $C_{\text{мик}}$ и $N_{\text{мик}}$ изучена в инкубационном эксперименте с внесением в почву луговых растительных остатков разного качества: 1) луговое разнотравье (контроль) и 2) смесь лугового разнотравья и березовых листьев с верхней границы леса (1:1). Почвенные и растительные образцы для инкубационного эксперимента были отобраны на тех же объектах исследования в августе 2022 г. Инкубацию проводили при температуре 15°C в течение года. Определение $C_{\text{мик}}$ и $N_{\text{мик}}$ в почвенных образцах выполнено методом фумигации-экстракции.

При продвижении от лугов к границе леса отмечено значительное уменьшение содержания общего углерода и азота в среднем на 0.6% и 0.04% для заповедных склонов, и на 0.7% и 0.06% — для пастбищных. В краткосрочном эксперименте отмечена такая же тенденция: внесение в луговую почву несвойственного листовенного опада приводило к снижению содержания углерода и азота в среднем на 0.5-0.8% и 0.03-0.05% после года инкубации. Вместе с тем выявлено и значительное уменьшение (в среднем в 1.2-1.5 и 1.3-1.7 раза) содержания $C_{\text{мик}}$ и $N_{\text{мик}}$ в почве вдоль трансекты от лугов к границе леса. Инкубационный эксперимент подтвердил выявленные изменения. После года инкубации в образцах с добавлением листовенного опада по сравнению с контролем содержание $C_{\text{мик}}$ было меньше в 1.2 раза (только для заповедных склонов), а $N_{\text{мик}}$ – в 1.4 и 1.2 раза для заповедного и пастбищного режимов землепользования.

Таким образом, смещение горно-лесного пояса на субальпийские луга приведет к снижению содержания C и N в почве и микробной биомассе как на начальной стадии изменения растительного покрова, так и в долгосрочной перспективе. Инкубационный эксперимент показал, что такие изменения в микробном пуле C и N преимущественно связаны с качеством поступающих в почву растительных остатков – усложнение их химического состава будет способствовать снижению иммобилизации этих элементов в микробной биомассе при продвижении горных лесов на субальпийские луга.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 22-74-10124.

УДК 631.46

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОЧВ

Казеев К.Ш.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kamil_kazeev@mail.ru

К настоящему времени разработан большой набор методов и показателей, позволяющий проводить биологическую диагностику почв. Методы биологической индикации имеют высокую чувствительность, позволяют проводить раннюю диагностику, по ним можно судить о воздействиях, не подвергающих существенно изменению вещественный состав почв (радиоактивное и биоцидное загрязнение). Биологические показатели часто используются как чувствительные индикаторы плодородия почв при разных системах

землепользовании и степени ее деградации при антропогенных воздействиях. Несмотря на длительные поиски до сих пор не найдено какого-либо одного показателя, исследуя который можно было бы делать вывод о биологическом состоянии почвы в целом. Биологическая диагностика почв является важной составляющей как локального, так и глобального мониторинга. Также, как и другие среды обитания, почву исследуют с помощью биологических показателей. Микробное разнообразие и биохимические показатели - важные индикаторы состояния почвы, поскольку они вовлечены в разложение органических веществ и поддержании устойчивого функционирования почв.

Комплексная оценка методов определения биологических свойств почв (главным образом микробиологических) была выполнена почти полвека назад Д.Г. Звягинцевым (1978). Он определил понятие биологической активности, рассмотрел существующие методы определения, разделил их на потенциальные и актуальные, создал шкалы для разных показателей. Д.Г. Звягинцев констатировал существенные недостатки методов определения биологической активности, многие из которых не разрешены до настоящего времени. Большая сложность в использовании большинства биологических показателей связана с их значительной пространственной и временной изменчивостью. Многие исследователи биологических параметров почв сталкивались с проблемой, когда выводы, сделанные по данным, полученным в разные годы (сезоны, месяцы и даже дни) противоречили друг другу. Варьирование биологических показателей требует большого числа повторностей, как полевых, так и аналитических. В последние годы интерес к проблематике биологической диагностике экологического состояния почв не ослабевает. Д.А. Никитиным с соавторами (2022) обобщены наиболее актуальные микробиологические показатели, которые могут служить индикаторами экологических функций почв.

В последние двадцать лет на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета была проведена оценка области применения биологических методов в биодиагностике и биомониторинге почв разного генезиса и свойств. Выбор показателей эколого-биологического состояния почв проводили в зависимости от целей и задач исследования, а также вида антропогенного воздействия. При диагностике антропогенного воздействия на почвы максимальную эффективность показала ферментативная активность, характеризующаяся сочетанием высокой чувствительности к антропогенному воздействию с достаточно высокой точностью определения. Кроме того, для их определения не требуются высококвалифицированные специалисты, как при использовании в качестве индикаторов растительности, фауны, а для микрофлоры еще и дорогих и сложных методов.

Ферментативная активность почв является одним из объективных показателей суммарной биологической активности, отражающим интенсивность и направленность протекающих в ней биохимических процессов. Показана высокая эффективность показателей ферментативной активности в целях диагностики состояния почв (Галстян, 1974; Хазиев, 1982; Dick, 1994; Dick, Tabatabai, 1992; Acosta-Martinez, 2000; Колесников и др., 2000; 2022; Казеев и др., 2004, Даденко и др., 2008; 2013, 2021; Sinsabaugh et al., 2018; [Cao et al.](#), 2021; Liu et al., 2023). Активность ферментов предложена как потенциальный индикатор состояния почвы, прежде всего, из-за ее связи с почвенной биотой и быстрой реакции на изменения в среде. Эти методы довольно просты и дают воспроизводимые результаты. Применению ферментативной активности в качестве диагностического показателя способствуют высокая чувствительность к внешним воздействиям, простота определения, низкая ошибка опыта. По активности различных ферментов можно диагностировать большой ряд биохимических процессов в почвах: минерализацию, гумусообразование, нитрификацию, азотфиксацию и т.д.

Существует ряд проблем, связанных с определением ферментативной активности. Они связаны с происхождением и местоположением ферментов в почве, их динамичностью и зависимостью (из-за столь ценимой нами чувствительности) от условий проведения анализа. Именно поэтому не прекращается поиск новых методов изучения ферментативной

активности почв, модифицируются уже известные методы, меняются подходы к условиям реакции (температура, использование буферов, время реакции) и / или использованию разнообразных реакционных субстратов и др. К сожалению, общепринятых стандартных процедур до сих пор не существует. Выбор, от которого зависит успех всей работы, остается за исследователем.

Современные методы определения ферментов дают ограниченную информацию о реальной их активности. Анализы, проводимые в лабораторных условиях, измеряют только потенциальную, а не реальную активность ферментов. Такая «неестественность» является причиной того, что многие авторы являются сторонниками определения биохимической активности при естественной реакции среды почвы, а не при оптимальных значениях pH (т.е. с добавлением буфера) (Saiya-Cork, 2002; Shaw, Burns, 2005, Margesin, 2005; Toberman et al., 2008; Burns 2013; Даденко и др., 2021). Важным условием при этом является контроль уровня pH. Добавление буфера рекомендуется только в случае, если почва сильно кислая или сильнощелочная (Shaw, Burns, 2005, Margesin, 2005; Burns 2013).

В результате многолетних исследований определены биологические индикаторы для диагностики большинства деградационных факторов, в том числе агрогенного воздействия, химического и физического загрязнения, засоления, переувлажнения, рубок леса, пожаров и др. Выявлено, что почвы с высокой биологической активностью более резистентны к антропогенному прессу, упорнее сопротивляются негативному воздействию, относительно медленнее теряют свои благоприятные свойства, нежели почвы с пониженной биологической активностью. С экологической точки зрения это означает, что почвы с низкой биологической активностью нуждаются в большем объеме природоохранных мероприятий. Географический же аспект этого заключается в том, что в различных природных зонах количественный эффект антропогенного воздействия на почвы неодинаков и он тем выше, чем ниже биологическая активность почв.

Исследование выполнено при государственной поддержке гранта Президента РФ для ведущей научной школы РФ (НШ-449.2022.5).

УДК 631.81

ВЛИЯНИЕ АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРИЕМОВ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ И АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ

Казьмин А.Е., Пугачева Л.В.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, 2016vniimz-noo@list.ru

Агромелиоративные приемы – гребнистая вспашка и объемное щелевание, применяются при возделывании картофеля на грядах для оптимизации водно-воздушного и питательного режимов почвы. Оптимизация водно-воздушного режима осуществляется путем концентрации в гряде растительных остатков и соломы озимой ржи. Применяют агромелиоративные приемы осенью. Улучшение питательного режима растений картофеля обеспечивается за счёт внесения удобрений, заправки соломы, обработки почвы без оборота пласта, при этом в гряде концентрируется основная масса верхнего десятисантиметрового слоя почвы, который по сравнению с нижележащими имеет лучшую структуру и более высокое содержание элементов питания.

Весенняя обработка почвы проводится общим фоном: культивация в 2 следа, внесение минеральных удобрений и компоста многоцелевого назначения (КМН), маркировка поля с нарезкой гряд высотой 12-14см.

Опыт проводили в 2017-2019 гг. на агрополигоне Губино ВНИИМЗ – филиале ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (Тверская обл.). Предшественник картофеля озимая рожь, почва на опытных участках дерново-подзолистая легкосуглинистая с атмосферным типом питания. Норма посадки картофеля при двухстрочной схеме 45-50 тыс. кустов на 1 га.

Картофель – культура требовательная к влагообеспеченности, особенно во время цветения и в период налива клубней. Оптимальная влажность почвы 70-80% НВ. В наших опытах по усредненным данным 3-х лет влагообеспеченность картофеля была выше при проведении гребнистой вспашки. Она в период цветения-клубнеобразование составила от 69,9% до 88,4% от НВ, а при обычной вспашке от 65,4% до 79,9% от НВ.

В опытах со щелеванием влажность в эти фазы была ниже, чем на контроле – 71,6% от НВ в цветение и 64,9 % от НВ в период клубнеобразования.

Общая порозность на всех вариантах находилась в диапазоне благоприятном для роста и развития картофеля и составила 50-60%. Порозность аэрации была немного выше оптимальных значений, при применении агроприёмов она снизилась на 1,1 и 1,2 %.

На вариантах с гребнистой вспашкой и объёмным щелеванием наблюдалась тенденция увеличения содержания легкогидролизуемого азота в почвах.

На вариантах, где проводилось щелевание содержание азота было 52,6 мг/кг почвы, на контроле 47,6 мг/кг (в среднем за 3 года), на вариантах с гребнистой вспашкой содержание азота также повысилось до 33,2 мг/кг почвы по сравнению с контролем 31,3 мг/кг почвы (в среднем за 3 года).

При применении гребнистой вспашки рН имело значение 5,1 и было благоприятным для роста и развития картофеля. На вариантах с объёмным щелеванием наблюдалось небольшое повышение кислотности почвы по сравнению с контролем.

Почвы опытных участков характеризуются высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия.

Главным критерием оценки эффективности того или иного агроприема является урожайность сельскохозяйственных культур, характеризующая совокупность тех условий, в которых культура росла и развивалась и определяется как результат взаимодействия этой культуры с факторами жизни и условиями внешней среды.

Урожайность картофеля сильно зависит от погодных условий, при неблагоприятных условиях может снижаться на 40-50%. В 2018 г период клубнеобразования характеризовался засушливыми условиями и отмечали снижение урожайности культуры в 2 раза на всех вариантах опыта по сравнению с урожайностью 2017 и 2019 гг.

В среднем за 3 года исследований урожайность картофеля была выше на вариантах с гребнистой вспашкой – 38,6 т/га, на вариантах с объёмным щелеванием 33,9 т/га, на контрольных вариантах соответственно 34,5 и 31,7 т/га.

Таким образом, по результатам трехлетних исследований гребнистая вспашка оказалась более эффективным агроприёмом, чем объёмное щелевание.

631.487

МИКРОБИОМ ХРОНОСЕРИИ ОТ ЗАЛЕЖНЫХ АГРОЗЕМОВ ДО ПРОТОТИПА ЗОНАЛЬНОЙ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Кимеклис А.К.^{1,2}, Гладков Г.В.^{1,2}, Поляков В.И.¹, Андронов Е.Е.^{2,3}, Абакумов Е.В.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, a.kimeklis@spbu.ru, g.gladkov@spbu.ru, v.polyakov@spbu.ru, e.abakumov@spbu.ru

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», Пушкин, Россия, eandronov@arriam.ru

³Почвенный Институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

Почвенный микробиом состоит из различных сообществ, играющих важную роль в существовании экосистемных услуг и устойчивом функционировании экосистем в условиях высоких антропогенных нагрузок. Переход почв в залежное состояние и последующая их трансформация приводят к заметному изменению таксономического состава почвенного микробиома, влияющему на биохимические процессы в почве и уровень ее плодородия. Объектом исследования послужили разновозрастные залежные почвы южной тайги в

окрестностях села Баньково Ленинградской области. Для анализа микробного сообщества использовали метод высокопроизводительного секвенирования фрагментов гена 16S рНК с использованием секвенатора Illumina MiSEQ. Установлено, что морфологическая организация залежных почв имеет существенные отличия от естественного подзола. В залежных почвах наблюдаются признаки выщелачивания, выражающиеся в накоплении выщелоченных минеральных частиц, что свидетельствует о деградации залежно-пахотного горизонта. В то же время в залежной почве наблюдается снижение содержания P₂O₅ и K₂O и увеличение содержания N-NH₄ и N-NO₃. Наиболее высокий уровень альфа-разнообразия в микробном сообществе характерен для 40-летнего залежного агрозема, при этом он снижается с увеличением времени залежного состояния, а наименьший показатель альфа-разнообразия - наблюдался в прототипе зональной подзолистой почвы. По значениям индекса бета-разнообразия выявлена высокая корреляция почвенного микробиома с физико-химическими характеристиками почвы, что свидетельствует о формировании функциональной специализации изученных микробных сообществ. В результате изучения таксономического состава микробных сообществ залежных почв установлено, что наиболее представленные микробные сообщества залежных почв принадлежат Nitrosomonadaceae (Pseudomonadota), Mycobacterium (Actinobacteria), Nitrospira (Nitrospirota) и Luteolibacter (Verrucomicrobiota). Продолжительность постагрогенной трансформации является ведущим фактором, влияющим на изменения микробных сообществ; так, с увеличением времени нахождения почв в залежном состоянии наблюдалось увеличение олиготрофного микробного сообщества.

Исследование было выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-16-20003 (соглашение от 20.04.2023) и гранта Санкт-Петербургского научного фонда № 23-16-20003 (соглашение от 05.05.2023).

УДК 579.69

МИКРОБОЦЕНОЗ РИЗОСФЕРЫ ЗЕРНОФУРАЖНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Киселёва А.А., Шулико Н.Н.

Омский аграрный научный центр, Омск, alina.veinbender@mail.ru

Снижение качества продукции растениеводства, падение естественного плодородия почв обуславливают всевозрастающее внимание к биологическому земледелию, суть которого заключается в использовании потенциальных возможностей естественных экосистем, в частности микроорганизмов азотфиксаторов. Ассоциативные системы растений и диазотрофов могут служить примером эволюционно сложившегося специфического взаимодействия живых организмов, изучение которых приобретает особую актуальность в связи с внедрением высокопродуктивного и экологически чистого земледелия.

В 2023 году было исследовано влияние биологических препаратов Мизорин (*Arthrobacter*) и Флавобактерин (*Flavobacterium*), на микробный ценоз ризосферы зернофуражных культур (овес Сибирский геркулес; ячмень Омский 101). Инокуляцию семян сельскохозяйственных культур проводили в день посева, рекомендованной дозой. Отбор проб ризосферы проводили в фазы развития растений: кушение (июнь), колошение (июль), налив зерна (август). В свежих почвенных образцах определена численность почвенных микроорганизмов: сапротрофов, произрастающих на мясопептонном агаре (МПА), амилитических микроорганизмов на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Засушливость вегетационного периода обусловлена средней температурой воздуха 17,8°C, что выше нормы на 1°C при дефиците осадков 178 мм или 86% от среднемноголетней при ГТК 0,80. Экстремально жарким был июль при температуре воздуха 22,6°C с превышением нормы на 3,2°C. Протеолитическая микрофлора (бактерии сапротрофы) - усваивает органические формы азота, а микроорганизмы, произрастающие на КАА, утилизируют минеральные формы азота.

Микробоценоз является динамичной структурной единицей экосистемы. Численность пула агрономически значимых, эколого - трофических групп находилась в диапазоне 16,4-26,8 млн КОЕ/г протеолитической микрофлоры, 10,7-12,9 млн КОЕ/г амилोलитической, в зависимости от применяемого биопрепарата.

Таблица - Численность микронаселения ризосферы зернофуражных культур, млн КОЕ/г, (n=3)

Ячмень, Омский 101	Бактерии-сапротрофы	Контроль	Мизорин	Флавобактерин
		16,4*	19,5	18,0
Овес, Сибирский геркулес	Амилолитическая микрофлора	10,7	11,4	12,8
	Бактерии-сапротрофы	18,0	17,4	26,8
Овес, Сибирский геркулес	Амилолитическая микрофлора	12,6	12,9	12,8

Примечание: * различия с соответствующим контролем статистически достоверны при уровне значимости $p < 0,05$. НСР₀₅A – агрокультура; НСР₀₅B – применение биопрепаратов, НСР₀₅AB – взаимодействие вариантов агрокультурах биопрепарат; n - количество определений.

Сапротрофные бактерии НСР₀₅ A = 4,7; НСР₀₅ B = 4,1; НСР₀₅ AB = 8,1

Амилолитические бактерии НСР₀₅ A = 3,9; НСР₀₅ B = 3,4; НСР₀₅ AB = 6,7

В условиях засушливого вегетационного периода на численность сапротрофной микрофлоры ризосферы ячменя, наибольшее положительное влияние оказал биопрепарат Мизорин, увеличение составило 18% в сравнении с контролем. Изменение сторону роста сапротрофной микрофлоры, отмечено также в прикорневом слое овса, составляя до 48% в варианте с Флавобактерином. Отмечена тенденция роста количества амилолитических микроорганизмов в ризосфере ячменя на 6-19%. На активность численности этой группы микроорганизмов в ризосфере овса, агроприем существенного воздействия не оказал. Бактеризации семян ассоциативными диазотрофами оказала положительное влияние на пул копитрофов. В посевах зернофуражных культур, преобладали бактерии утилизирующие органические формы азота, в наибольшей степени под ячменем в варианте с применением биопрепарата - Флавобактерин.

*исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10064,

<https://rscf.ru/project/23-76-10064/>.

УДК 631.46

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗНООБРАЗИЯ МИКРОБНОГО КОМПЛЕКСА «ПОДВЕШЕННЫХ ПОЧВ» ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВЬЕТНАМА

Князева А.В.^{1,2}

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва;

² ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН, email: aknyazeva1999@gmail.com

Заповедники Вьетнама, обладающие уникальными климатическими и географическими особенностями, представляют собой ценные объекты для изучения почвенного биоразнообразия. Почвенные микроорганизмы играют важную роль в экосистеме, влияя на

плодородие почвы и биогеохимические процессы. Исследование их разнообразия во Вьетнаме имеет значительное научное и практическое значение. Это позволит не только лучше понять особенности функционирования экосистемы этой страны, но и разработать эффективные методы сохранения биоразнообразия и устойчивого использования почвенных ресурсов.

Одним из наиболее интересных направлений биологии почв в тропических лесах является изучение так называемых «подвешенных почв» - специфических субстратов, формирующихся на корнях эпифитных растений под воздействием биотических и абиотических факторов. Микроорганизмы, обитающие в «подвешенных почвах», могут обладать уникальными биологическими свойствами, которые могут быть полезными для разработки новых биотехнологий, таких как биоремедиация загрязнений или производство биологически активных веществ.

Целью работы являлось проведение сравнительной характеристики микробного разнообразия «подвешенных почв» заповедников Вьетнама для выявления общих закономерностей формирования, развития и функционирования микробного комплекса данных субстратов.

Объектами исследования являлись «подвешенные почвы», сформированные в корзинках эпифитных папоротников рода *Drynaria* sp. Образцы отбирались на особо охраняемых территориях (ООПТ) Вьетнама - Кон Тю Ранг, Пу Хоат, Сонгхань, Тэйзынг и Суанлиен в апреле-июне 2018-2023 годов. Также были исследованы зональные и интразональные почвы и растительный опад из сопряженного с каждым образцом «подвешенной почвы» локуса. Общая численность бактерий, оцененная при помощи метода прямой люминесцентной микроскопии, в исследованных образцах варьировала от 1,49 до 5,01 млрд клеток/г. Наибольшая численность бактерий была приурочена к образцам «подвешенной почвы», генетически связанными с ферраллитными почвами, наименьшая – с аллювиальными почвами. Величина длины актиномицетного мицелия слабо варьировала в различных образцах и изменялась в пределах от 494 до 690 м/г. Общей закономерностью для всех «подвешенных почв» была высокая по сравнению с образцами почвы и сравнимая с образцами растительного опада численность прокариотных микроорганизмов. Длина грибного мицелия изменялась от 196 до 880 м/г и являлось более низкой по сравнению с длиной мицелия, определенной в других субстратах. По литературным данным известно, что значительная часть микромицетов в образцах почв и сопряженных субстратов ООПТ Вьетнама обнаруживается в виде спор.

В целом, показатели общей прокариотной биомассы были сравнимы с биомассой микроорганизмов в почвах и растительном опаде и изменялись от 0,4 до 4,79 мг/г. Однако, доля прокариотной биомассы в общей микробной биомассе была в 2-6 раз выше, чем в остальных образцах, что может указывать на обилие легкодоступных органических субстратов, которые могут разлагать и потреблять прокариотные микроорганизмы. Гидролитический прокариотный комплекс, значимым компонентом которого являются актиномицеты, широко представлен в изученных образцах «подвешенных почв», что было определено с помощью посева на глюкозо-пептонно-дрожжевую среду. Предположительно, значительная часть актиномицетных микроорганизмов, выделенных при помощи метода посева на твердые питательные среды, находилась в состоянии спор и меньшая – в виде мицелия, выявленного при помощи прямой микроскопии.

Показатели актуальной азотфиксации и денитрификации в образцах «подвешенной почвы» варьировали от 0,03 до 0,11 мкг $C_2H_4/g \cdot сут$ и от 0,98 до 47,02 мкг $N_2O/g \cdot сут$ соответственно, и значительно превышали аналогичные для почв и растительного опада. Аналогичные результаты были получены для показателей актуального и потенциального микробного дыхания и актуального метаногенеза. Незначительные различия между значениями показателей актуальной и потенциальной азотфиксации указывают на достаточную обеспеченность субстрата углеродом, что было обнаружено в образцах «подвешенной

почвы» из леса Тэйзьянг. Высокие значения актуальной и потенциальной азотфиксации и денитрификации в «подвешенной почве» из корзинок эпифитных папоротников, предположительно, связано не только с большим количеством выделенных штаммов бактерий, связанных с циклом азота, но и с высокой активностью термитов и иных членистоногих, ассоциированных с данным субстратом.

По результатам проведенного высокопроизводительного пиросеквенирования во всех изученных образцах «подвешенной почвы» доминирующими филумами бактерий являлись Pseudomonadota, Acidobacteriota, Actinomycetota, что согласуется с изученными литературными данными. Значительно ниже была представленность филумов, широко распространенных в почвах - Bacillota, Bacteroidota, Chloroflexota, Verrucomicrobiota и др. Также во всех исследованных образцах было обнаружено значительное разнообразие представителей филумов-кандидатов (Eremiobacterota, Dependientiae, Patescibacteria, Elusimicrobiota и др.), что может указывать на перспективы выделения данных микроорганизмов из этого локуса. Около 20% микроорганизмов, обнаруженных при помощи метагеномного анализа, также указывают на то, что значительный вклад в формирование «подвешенных почв» вносят водные и воздушные потоки. В целом, вне зависимости от места отбора «подвешенной почвы» общее определенное количество родов бактерий превышало таковые для почв и было сравнимо с аналогичным показателем для растительного опада. Однако, в «подвешенных почвах» ООПТ Пу Хоат и Суанлиен было обнаружено большее относительное разнообразие родов, связанных с процессами биогеохимического цикла азота и синтеза вторичных метаболитов, которые могут быть применимы в биотехнологических целях (*Bradyrhizobium*, *Pseudomonas*, *Jatrophihabitans* и др.).

Таким образом, было показано, что численность и разнообразие микробного комплекса «подвешенных почв» значительно отличается от аналогичных показателей сопряженных с ними почв и растительного опада. Во всех изученных образцах «подвешенных почв» выявлено высокое разнообразие и численность прокариотных микроорганизмов.

Предположительно, на общую численность бактерий, определяемых в изучаемом субстрате, значительно влияет уровень влажности и тип почвы, с которым «подвешенная почва» генетически и географически сопряжена, что было показано при помощи методов прямой люминесцентной микроскопии и посева на питательные среды. В СБК всех исследованных подвешенных почв доминирует род *Streptomyces*, что указывает на значительную роль актиномицетов в гидролизе растительных остатков, поступающих в «подвешенную почву» непосредственно от эпифита-носителя и форофитного растений. Данные метагеномного анализа и, в частности, определение высокой доли малоизученных филумов и филумов-кандидатов в «подвешенных почвах» представляет потенциал для выделения данных микроорганизмов и их использования в целях биотехнологии, изучения и сохранения биоразнообразия планеты.

УДК 631.466

ОЦЕНКА СООБЩЕСТВ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРОМИЦЕТОВ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БУГРИСТЫХ БОЛОТ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Ковалева В.А., Лаптева Е.М., Виноградова Ю.А., Денева С.В., Перминова Е.М.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: kovaleva@ib.komisc.ru

В горных ландшафтах Урала болотные экосистемы, по сравнению с равнинными, занимают незначительные территории, но они представлены практически во всех высотных поясах. В отличие от торфяников равнинных территорий формирование мерзлотных бугристых болот в условиях Приполярного Урала связано как с историей торфонакопления, так и с геологическими процессами и процессами аллювиальной седиментации, что обуславливает наличие в толще торфяной залежи минеральных прослоек. При этом болота Урала слабо

изучены как с точки зрения их типологии, характеристики растительности, так и оценки почвообразовательных процессов. Территории Приполярного Урала представляют собой огромное многообразие болотных комплексов депрессий и склонов. Бугристые болота Приполярного Урала приурочены к районам с суровым климатом и наличием многолетнемерзлых грунтов. В торфяных отложениях и многолетнемерзлых торфах таких экосистем законсервировано значительное количество органического. Именно такие болотные экосистемы, развивающиеся в экстремальных условиях, имеют высокий потенциал видового разнообразия почвенных микроорганизмов, определяющих функционирование болот в глобальном масштабе. Цель работы заключалась в выявлении особенностей состава комплексов микроскопических грибов торфяных почв бугристых болот горных ландшафтов Приполярного Урала. Объектами исследования послужили два болотных массива, приуроченных к межгорной долине реки Балбанью. Болото I расположено на подножие склона горы Старик-из (65°10'20.8" с.ш., 60°14'16.9" в.д.), Болото II расположено на надпойменной террасе межгорной долины реки (65°11'47.2" с.ш., 60°13'31.8" в.д.). Образцы торфа для изучения состава и структуры комплекса культивируемых микроскопических грибов бугристых торфяников отбирали из мочажин Болота I и Болота II и опорных разрезов на торфяных буграх Болота I и Болота II (профиль а и профиль б). Торфяные бугры в пределах рассматриваемых болот плоские, имеют овальную форму. Ширина бугров 15-50 м, длина – до 200 м, высота – около 0.5-1.5 м. Поверхность торфяных бугров мелкобугорковатая, мочажин – мелкопочковатая. Мерзлота в них залегает на глубине 40-60 см, в мочажинах – за пределами метрового слоя почвы. Общая мощность торфяной залежи невысокая от 30-40 см в поймах рек до 1-1.5 м в болотных массивах у подножия болотных склонов. Растительный покров бугров довольно однообразный: кустарничково-лишайниковый или кустарничково-морошково-мохово-лишайниковый. Растительность понижений отличается большим разнообразием и представлена осоково-моховыми, осоково-сфагновыми, разнотравно-моховыми сообществами. Степень разложения торфов изменяется по глубине залежи от 3 до 40%. Нижние слои торфа (глубина 55-70 см) сложены преимущественно остатками осок и гипновых мхов. В срединной части (глубина 38-55 см) осоково-гипновый торф сменяется осоково-сфагновым и пушицево-сфагновым. На глубине 22-38 см в торфяной залежи четко прослеживается прослойка опесчаненного суглинка, содержащего значительное количество растительных остатков кустарников (карликовой березки, ив) и пушицы. Верхняя часть торфяной залежи, характеризующая современные условия формирования болотной экосистемы, представлена типичным верховым торфом. Почвы бугров – торфяные олиготрофные мерзлотные, мочажин – торфяные олиготрофные. В целом численность почвенных микроскопических грибов верхних слоев торфяных почв варьирует в пределах: 0.4 - 242 тыс. КОЕ/г а.с.п. Среди изученных торфяных залежей максимальные значения общей численности микромицетов выявлены в верхнем слое живых мхов Болота I – 242.0±66.2 тыс. КОЕ/г а.с.п. В результате исследования оценены закономерности видового разнообразия культивируемых микромицетов в торфяных почвах бугристых болот Приполярного Урала. Показано, что сообщества микроскопических грибов представлены 62 видами из 15 родов. Большая часть выделенных грибов относится к отделу *Ascomycota* (44 вида из 10 родов), в котором все выделенные грибы анаморфные, не способные к образованию телеоморфы в культуре. Отдел включает виды из 5 порядков: *Dothideales*, *Eurotiales*, *Helotiales*, *Hypocreales*, *Saccharomycetales* и группу неопределенного таксономического положения (*Incertae sedis*). Доминирует по числу видов род *Penicillium* (22 вида). Отдел *Mucoromycota* представлен 17 видами из 5 родов и двух порядков – *Mortierellales* и *Mucorales*. Сообщества микромицетов исследуемых торфяных почв бугристых болот Приполярного Урала характеризуются высокими показателями видового разнообразия. В профиле Болота I выделено 38 видов из 10 родов, в профилях Болота II – 58 видов из 14 родов. Комплексы почвенных микромицетов представлены преимущественно редкими и случайными видами. Группа доминантов по частоте встречаемости включает

виды: *Pseudogymnoascus pannorum*, *Talaromyces funiculosus* и стерильный мицелий. Наиболее обильны в слое живых мхов – *Penicillium spinulosum* (17%), *P. thomii* (18%), *Talaromyces funiculosus* (19%). В сезонно-талых слоях торфа высоким обилием характеризуются виды: *Pseudogymnoascus pannorum* (11%), *Talaromyces funiculosus* (14%) и стерильный мицелий (16%). В минеральных слоях доминирующим по обилию является *Pseudogymnoascus pannorum* (78%), а в мерзлых слоях торфа микромицеты не обнаружены, только единичные колонии стерильного мицелия. Комплексы микромицетов исследуемых болот состоят как из эвритопных видов, так и из видов характерных для торфяных почв разных природных зон: *Mortierella alpina*, *Mucor hiemalis*, *Umbelopsis ramanniana*, *U. vinacea*, *Penicillium granulatum*, *P. lividum*, *P. spinulosum*, *P. thomii*, *Trichoderma hamatum*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *T. viride*, *Oidiodendron griseum*, *O. maius* и *O. tenuissimum*. Среди доминантов по частоте встречаемости и обилию есть типичные представители торфяных залежей, участвующих в разложении сфагновых мхов – *Mortierella alpina*, *Mucor hiemalis*, *Umbelopsis ramanniana*, *U. vinacea*, *Penicillium granulatum*, *P. spinulosum*, *P. thomii*. При сравнении сообществ микромицетов торфяных почв бугристых болот выявлена высокая степень сходства видовых составов. При этом комплексы микромицетов исследуемых болот имеют свою специфичность. Так, в профиле Болота II-а выявлено высокое обилие видов рода *Trichoderma* и в целом более высокое видовое разнообразие в отличие от двух других биотопов, что, возможно, связано с разнообразием растительного покрова в пределах одного болота в разные периоды формирования торфяной залежи. Выполнение данной работы позволило получить новый уникальный материал, существенно расширяющий представление о видовом разнообразии торфяных почв. Исследование микромицетов комплексов бугристых болот Приполярного Урала в дальнейшем может помочь в раскрытии процессов функционирования бугристых болотных экосистем в северо-восточном секторе европейской Арктики. Однако выявленный видовой состав микромицетов в торфяных почвах бугристых болот нельзя считать полным как из-за пространственной ограниченности исследований, так и вследствие вариабельности видового богатства и структуры грибных сообществ в зависимости от структуры и состава торфяной залежи, характера и истории ее возникновения. Поэтому дальнейшие исследования сообществ почвенных микромицетов бугристых болот Арктики остаются весьма актуальными.

УДК 631.46

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МИКРОБИОМ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Коваленко М.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,

masya.kma@mail.ru

В связи с активным использованием технологий добычи и переработки нефти масштабы загрязнения углеводородами растут. Восстановление загрязненных нефтепродуктами экосистем является актуальной проблемой и одним из наиболее оптимальных методов рекультивации подобных загрязнений является биоремедиация почв. Температура, как один из важнейших экологических факторов, влияет на микробную деструкцию углеводородов нефти.

Целью работы явилось изучение таксономической структуры прокариотной составляющей нефтезагрязненных почв под воздействием различных температур.

В качестве объектов использовались микрочосмы антарктических грунтов и верхних гумусовых горизонтов типичного чернозема и аллювиально-луговой почвы, загрязненных нефтью Байтуганского месторождения в количестве 10% от массы почвы, которые инкубировались при постоянной влажности и температурах 4°C, 28°C и 46°C.

Для оценки метаболической активности и состава сообщества использовались молекулярно-биологические методы (FISH, секвенирование и метагеномный анализ) и определение индивидуальных углеводов, измерения проводились на 1, 15, 30 и 180 дни эксперимента.

По результатам определения индивидуальных углеводов в нефтезагрязненных образцах при 28°C уже к 15 суткам эксперимента наблюдается снижение доли n-алканов, а к 270 суткам видно существенное сокращение их количества в образцах. Данные метагеномного анализа образцов показали, что нефтезагрязненные почвы умеренной климатической зоны характеризуются пониженными значениями биомассы и разнообразия прокариотного комплекса при всех исследуемых температурах инкубирования по сравнению с незагрязненными. Для почв континентального климата указанная закономерность сохраняется для температуры инкубирования 46°C, а для антарктического климата наблюдается при 28°C и 46°C. Наиболее часто доминирующими филумами среди углеводородокисляющих бактерий в опытных образцах при 4°C и 28°C являются *Actinomycetota* и *Pseudomonadota*, а при 46°C - *Bacillota*. Установлена специфичность нефтеокисляющего прокариотного комплекса на родовом уровне – при пониженных температурах (4°C) в антарктическом грунте и аллювиально-луговых почвах преобладают бактерии рода *Pseudomonas*. В образцах аллювиально-луговой почвы, инкубируемых при 28°C, доминировал род *Saccharimonas*. При 46°C наблюдалось развитие термофилов гидролитиков, среди которых в качестве потенциальных углеводородокисляющих представителей бактерий могут выступать составляющие существенную долю в сообществе организмы *Brevibacillus* для антарктического грунта и *Thermoactinomyces* для чернозема. Более интенсивная экспрессия гена *alkB*, наблюдалась в загрязненных нефтью образцах по сравнению с контрольными вариантами. Для каждой из представленных почв наибольшая экспрессия была свойственна при различных температурах инкубирования. Внесение нефти приводит к изменению структуры сообщества загрязненной почвы с тенденцией к увеличению количества представителей углеводородокисляющих бактерий. Деградация прямоцепочечных углеводов начинается на первых сроках сукцессии и становится хорошо заметна уже к 6 месяцу. Данные, полученные в процессе исследования, позволяют оценить влияние температуры на состав микробных сообществ различных почв и грунтов и выделить наиболее ярких представителей нефтедеструкторов для каждой из градаций температурного фактора, что может быть использовано при разработке биопрепаратов для ремедиации почв.

УДК 631.46

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОДИАГНОСТИКИ ЭКОТОКСИЧНОСТИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ

Колесников С.И.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kolesnikov@sfedu.ru

Оценка качества (здоровья) почв и окружающей среды наиболее эффективно может осуществляться с использованием живых организмов в качестве биоиндикаторов. К настоящему времени в отечественной и мировой науке накоплен обширный материал по реакции живых систем на загрязнение. Актуальной на сегодняшний день задачей является отбор биологических показателей (биологических систем) для оценки экотоксичности загрязняющих веществ и нормирования их содержания в окружающей среде, в частности в почве.

При выборе биологических показателей для решения данных задач представляется целесообразным придерживаться ряда критериев — характеристик, которым показатель должен соответствовать: информативность (коррелятивность) показателя (тесная корреляция между показателем и антропогенным фактором); высокая чувствительность показателя;

достоверность показателя и метода (адекватность результатов, полученных данным методом, реальным условиям); хорошая воспроизводимость результатов, полученных данным методом; незначительное варьирование показателя; небольшая ошибка метода определения показателя; простота, малая трудоемкость и высокая скорость метода определения; широкая распространенность метода в стране и за рубежом; соответствие метода принятым стандартам, и др.

На кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета было проанализировано более 100 биологических и других показателей, характеризующих состояние и функционирование почвы. Показатели были апробированы для оценки экотоксичности различных химических веществ, таких как тяжелые металлы (33 химических элемента), наночастицы, нефть и нефтепродукты, антибиотики, пестициды и др. Показатели апробированы на более 50 типах и подтипах почв.

В результате оценки показателей в соответствии с вышеуказанными критериями было установлено следующее: микробиологические и зоологические показатели, показатели интенсивности выделения углекислого газа, как правило, отличаются высокой чувствительностью к внешним воздействиям, но не всегда хорошо коррелируют со степенью воздействия, а также непросты в определении; показатели ферментативной активности, как правило, отличаются тесной корреляцией со степенью внешнего воздействия, но менее чувствительны и не все просты в определении; фитотоксические показатели просты в определении, высокочувствительны, но не всегда хорошо коррелируют с внешним фактором; «небиологические» показатели, такие как показатели гумусового состояния, агрохимические, физические и другие, значительно проигрывают биологическим показателям по чувствительности.

Поиск какого-либо одного универсального биодиагностического показателя, дающего интегральную оценку качества почвы, в настоящее время не увенчался успехом. В результате было предложено использование интегрального биологического показателя состояния (ИПБС) почвы, основанного на нескольких наиболее информативных и чувствительных показателях, важных для функционирования почвы, характеризующих полноценность выполнения ею своих экологических и сельскохозяйственных функций. Предложено при оценке экотоксичности загрязняющего вещества и нормировании загрязнения почв считать экологически безопасной концентрацией поллютанта в почве такую концентрацию, которая не приводит к нарушению важнейших групп экологических функций почвы.

Благодарность. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации, Программы «Приоритет 2030» и др.

УДК 631.46

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА ГОРОДСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Корнейкова М.В.^{1,2}, Васенев В.И.^{1,3}, Никитин Д.А.⁴, Долгих А.В.⁵

¹Российский университет дружбы народов, Москва, korneykova.maria@mail.ru;

²Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, korneykova.maria@mail.ru;

³Университет Вагенингена, Вагенинген, vasenyov@mail.ru;

⁴Почвенный Институт им. В.В. Докучаева РАН, Москва, dimnik90@mail.ru;

⁵Институт географии РАН, Москва, dolgikh@igras.ru

Территория Российской Арктики характеризуется уникальным сочетанием суровых климатических условий и высокой антропогенной нагрузки, что приводит к значительным последствиям для состояния почв и населяющей ее биоты. Почвенные микробные

сообщества чувствительны к антропогенной нагрузке, поэтому микробная активность и разнообразие широко используются в качестве индикаторов состояния почв. В настоящее время влияние урбанизации и промышленности на почвенные микробные сообщества в российской Арктике все еще остаются малоизученными.

Цель настоящей работы – провести сравнительный анализ химических и микробиологических свойств почв в зоне воздействия выбросов промышленных предприятий цветной металлургии (медно-никелевый комбинат «Печенганикель», Кандалакшский алюминиевый завод) и в городах (Апатиты, Мурманск), расположенных на Кольском полуострове.

Оценивали физико-химические свойства почв (плотность; рН; содержание С, N (CN анализатор), а также содержание тяжелых металлов (метод ICP) и фтора (ион-селективный метод). Среди микробиологических параметров определяли количественное содержание рибосомальных копий генов бактерий, архей и грибов методом ПЦР (полимеразной цепной реакции) в реальном времени; биомассу прокариот и грибов – методом люминесцентной микроскопии; таксономическое разнообразие микробного сообщества – методом метабаркодинга.

Городские почвы характеризовались более высокими значениями рН, содержанием углерода и питательных веществ по сравнению с фоновыми территориями. Промышленно загрязненные почвы, в свою очередь, имели более высокое содержание тяжелых металлов (медно-никелевый комбинат), фтора и алюминия (алюминиевый завод) по сравнению с городскими и фоновыми почвами, тогда как содержание углерода и рН были близки к природным аналогам.

Выбросы промышленных предприятий оказывали сильное угнетающее действие на почвенный микробиом, однако степень негативного воздействия сильно зависела от источника выбросов и их химического состава. Вблизи медно-никелевого комбината выявлено уменьшение числа копий бактериальных генов и длины актиномицетного мицелия. В структуре микробных сообществ доминировали представители *Chloroflexii* и *Ascomycota*. В зоне влияния алюминиевого завода изменения количественных показателей менее выражены. В структуре микробного сообщества преобладали *Proteobacteria* и *Basidiomycota*. В промышленно загрязненных почвах независимо от состава выбросов отмечено снижение разнообразия микробных сообществ.

В городских почвах, напротив, таксономическое и функциональное разнообразие микробных сообществ увеличилось, вероятно, за счет образования новых ниш, которые могут быть более выгодными по сравнению с естественными почвами. Таксономическая структура микробных сообществ почв разных городов была схожа между собой, в ней доминировали *Proteobacteria* *Ascomycota*. В городских почвах выявлено увеличение количества копий генов бактерий по сравнению с фоновыми почвами.

Таким образом, урбанизация и промышленность представляют собой два альтернативных пути развития почвенного микробного сообщества в антропогенно-нарушенных почвах. Выбросы промышленных предприятий оказывают угнетающее действие на микробные сообщества, тогда как урбанизация часто создает новую нишу для их развития. Полученные результаты отражают потенциал городских почв для поддержания микробного разнообразия и функциональности, которые могут быть основой при разработке стратегий устойчивого развития почв в уязвимых экосистемах арктических городов.

Исследование выполнено при поддержке проекта Российского научного фонда № 23-17-00118.

УДК 632.937.21

ВЛИЯНИЕ СООБЩЕСТВА КОЛЛЕМБОЛ НА ГРИБЫ РОДА *FUSARIUM* В АГРОЭКОСИСТЕМЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Короткевич А.Ю., Гончаров А.А.

Фузариевые грибы – распространенные фитопатогены, вызывающие ряд экономически значимых заболеваний сельскохозяйственных культур, в том числе злаков. Эти грибы сохраняются в остатках урожая в верхнем слое почвы. Также в почвах агроэкосистем обитают коллемболы – группа сапротрофных почвенных беспозвоночных. Коллемболы представляют важное звено в детритной пищевой сети, регулируя активность бактерий и грибов. В лабораторных экспериментах было показано, что некоторые виды *Collembola* (*Onychiurus armatus*, *O. tuberculatus* и *Folsomia candida*) эффективно питаются грибами, которые являются патогенами растений.

Для оценки связи сообщества коллембол и фузариевых грибов нами было проведено два эксперимента: лабораторный и полевой. В каждом из экспериментов было исследовано влияние добавления детритной субстанции на почвенных коллембол, фузариевые грибы и растения озимой пшеницы. Длительность лабораторного и полевого экспериментов составила 65 и 91 день, соответственно. Повторность в каждом эксперименте была равна пяти.

В лабораторном эксперименте не было выявлено корреляции между численностью коллембол и биомассой фузариевых грибов в почве, однако в полевом эксперименте численность коллембол была негативно связана с биомассой фузариевых грибов в зерне пшеницы (корреляция Пирсона, $r = -0,66$; $p < 0,05$).

В данном исследовании коллемболы продемонстрировали возможность функционирования в качестве биологического регулятора грибов рода *Fusarium*. Однако необходимо исследовать вопрос взаимного влияния других групп педобионтов.

УДК 631.4

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОЧВОПОДОБНЫХ ТЕЛ ПЕЩЕР ВЬЕТНАМА

Косенко Н.Р.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail nrkosenko@gmail.com

Почвоподобные тела (ППТ) пещер представляют собой особые малоизученные элементы почвенного покрова. Ограниченные пространства пещер накладывают значительные ограничения на процессы почвообразования и формирование таксономически разнообразных микробных сообществ.

Целью нашей работы было изучение разнообразия микробных сообществ почвоподобных тел пещер Вьетнама классическими и молекулярными методами микробиологии.

В ходе работы изучено разнообразие микробных сообществ почвоподобных тел (пещеры Тханьван, Лумкум и Пигми) с помощью методов посева на агаризованную глюкозо-пептонно-дрожжевую среду, прямого люминесцентного микроскопирования и секвенирования генов гипервариабельных регионов 16S рРНК и ITS2. Образцы ППТ были отобраны летом 2022 года на территории Природного заповедника Батдайшон и Национального парка Фонгня-Кебанг.

Общая численность бактерий в ППТ варьировала от 0,56 до 2,34 млрд клеток/г, в то время как в близлежащих почвах показатели численности изменялись от 1,28 до 2,67 млрд клеток/г. Численность культивируемых бактерий сапротрофного комплекса (СБК) в ППТ варьировала от 0,46 до 1,18 млн КОЕ/г, а в близлежащих почвах от 1,32 до 1,50 млн КОЕ/г. В ППТ доминантами являлись бактерии родов *Bacillus* и *Streptomyces*, а в почвах – филум *Proteobacteria*.

В результате метагеномного анализа, в образцах ППТ было обнаружено 25 филумов бактерий, доминирующими среди которых представлены *Actinomycetota* и *Pseudomonadota*

во всех ППТ пещер и филум Chloroflexota в известковом ППТ пещеры Тханьван. Общими для всех изученных образцов являлись 16 филумов – помимо наиболее широко представленных были выявлены также представители филумов Bacillota, Acidobacteriota, Nitrospirota, Мухосoccota, Bacteroidota, Gemmatimonadota, Cyanobacteriota, Verrucomicrobiota, Planctomycetota, Desulfobacteriota и филумы-кандидаты Methylomirabilota, Tectoectomicrobia, Latescibacteriota. Наиболее разнообразным на родовом уровне являлся известковый субстрат пещеры пещеры Тханьван (79 рода бактерий). Во всех исследованных образцах ППТ были обнаружены представители 2 филумов домена Archaea (Thermoproteota, Thermoplasmotota). По литературным данным, в близлежащих почвах и сопряженных субстратах (опад и "подвешенная почва") было зафиксировано более высокое филогенетическое разнообразие прокариот (36 филумов), основные представители которых были приурочены к филумам Actinomycetota, Pseudomonadota, Acidobacteriota.

Также были проведены исследования численности и разнообразия микромицетов.

Длина грибного мицелия в ППТ варьировала от 35,21 до 106,49 м/г, а в близлежащих почвах показатели изменялись от 47,09 до 61,09 м/г. Численность грибных спор в ППТ колебалась в пределах от 63,85 до 634,7 млн спор/г, в то время как в почвах – от 106,91 до 204,49 млн спор/г. Распределение спор по размерам выявило во всех образцах доминирование мелких спор до 3 мкм, в то время как средние споры от 3 до 6 мкм были обнаружены лишь в образцах ППТ.

В результате метагеномного анализа в образцах ППТ было обнаружено 3 отдела микромицетов – Ascomycota, Mortierellomycota и Basidiomycota. В известковых ППТ пещер Тханьван и Лумкум обнаружены все 3 отдела, а в глинистом ППТ пещеры Пигми не выявлен отдел Mortierellomycota. Большая часть грибов относилась к отделу Ascomycota, который наиболее широко представлен классами микромицетов среди других отделов – 9 классов (Sordariomycetes, Pezizomycetes, Eurotiomycetes, Orbiliomycetes, Dothideomycetes, Saccharomycetes, Lichinomycetes, Lecanoromycetes, Leotiomycetes). Во всех трех субстратах наиболее разнообразными в отделе Ascomycota являлись представители порядка Нуросcreales, Onygenales, Eurotiales. Наиболее разнообразным на родовом уровне представлен известковый субстрат пещеры Лумкум – 73 рода грибов.

По литературным данным в близлежащих почвах и сопряженных субстратах (опад и "подвешенная почва") характеризуются высоким грибным разнообразием. При этом во всех субстратах также доминирует отдел Ascomycota, порядки Нуросcreales и Eurotiales.

Таким образом, общая численность бактерий и численность СБК в почвоподобных телах в целом представлены более низкими значениями, чем в близлежащих почвах.

Филогенетическое разнообразие бактерий в ППТ пещер также ниже. Показатели длины грибного мицелия в ППТ сильно варьировали по сравнению к почвам, а численность грибных спор была выше для почвоподобных тел (кроме пещеры Руккарынг), чем для близлежащих почв. Филогенетическое разнообразие микромицетов ППТ близко к разнообразию в почвах. Сходство доминирующих филумов бактерий и отделов грибов ППТ с почвами и сопряженными субстратами свидетельствует в пользу попадания микроорганизмов в пещеры из почв с воздушными и водными потоками.

УДК 631.46

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МУРАВЬЕВ РОДА LASIUS НА ПОЧВЕННЫЙ МИКРОБИОМ

Костина Н.В.¹, Дымова А.А.^{1,2}

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: nvkostina@mail.ru;

² Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, e-mail: Alexandra.dymova@mail.ru

Муравьев, освоивших почвенную среду обитания, несомненно, можно отнести к группе аллогенных экосистемных инженеров, как животных, изменяющих в процессе жизнедеятельности свойства окружающей среды, и создающих новые экологические ниши.

Плотность поселений муравьев может превышать 1500 гнезд на гектар. Во время гнездостроительной деятельности они затрагивают почвенный профиль на глубину более 1 метра, значительно изменяют физическую структуру почвы, влияют на её химический состав и интенсифицируют круговорот биогенных элементов – азота и углерода. Муравьи являются носителями широкого спектра микроорганизмов с разнообразными функциями. Тем не менее, остается открытым вопрос – насколько сходны микробиомы, сформированные у филогенетически родственных видов муравьев и насколько они подвержены влиянию среды их обитания. Особый интерес для исследования представляют эпигеобионтные и геобионтные виды муравьев, заселяющие антропогенно нарушенные почвы.

Целью данной работы была сравнительная характеристика микробного комплекса залежных почв, заселенных муравьями, муравьиных гнезд и муравьев. Объектами исследования были постагропсаммозёмы гумусовые оподзоленные на флювиогляциальных породах (Рязанская область, Касимовский район, пос. Елатьма), поле было выведено из сельскохозяйственного использования более 25 лет назад. Объектами исследования служили образцы почв (контроль), образцы материала из различных структурных элементов муравьиных гнезд (муравейников), а также рабочие особи муравьев *Lasius niger* и *Lasius flavus*.

Таксономический состав бактериальных сообществ исследуемых образцов определяли методом высокопроизводительного секвенирования (NGS) консервативного участка гена 16S рНК. Секвенирование проводили на полигеномном секвенаторе Illumina MiSeq (Illumina, США), количество парных прочтений – 8 млн.

По результатам высокопроизводительного секвенирования участка гена 16S рНК было установлено, что в образце почвы с контрольного участка доминируют прокариоты, относящиеся к типам *Proteobacteria* (29,7 %), *Acidobacteria* (24 %), *Actinobacteria* (17,4 %), *Verrucomicrobia* (9,8 %), *Gemmatimonadetes* (4,6 %). Среди минорных компонентов были выявлены *Planctomycetes*, *Chloroflexi* и *Bacteroidetes*. Установленное нами распределение доминирующих филумов в почвенном микробиоме является характерным для структуры прокариотной компоненты исследуемого типа почв в естественных условиях.

В гнездовом материале муравьев *L. niger* доминируют прокариоты, относящиеся к *Proteobacteria* (39,4 %), *Actinobacteria* (35,5 %), *Acidobacteria* (7,2 %), *Bacteroidetes* (5,6 %), *Verrucomicrobia* (2,9 %). Следует отметить существенное уменьшение доли *Acidobacteria*, а также увеличение доли *Actinobacteria* и *Bacteroidetes* в гнездовом материале муравейников *L. niger* по сравнению с окружающей почвой. Среди доминирующих семейств, следует особо отметить представителей семейства *Burkholderiaceae*. Известно, что они также присутствуют в микробиоме древесных тропических муравьев родов *Cephalotes* и *Procryptocerus* и в колониях древесных муравьев рода *Azteca*. В целом, почвы из муравейников *L. niger* отличались повышенным разнообразием по сравнению с почвами, отобранными на контрольных участках.

В материале муравейников *L. flavus* обнаружены *Proteobacteria* (27,2 %), *Acidobacteria* (19,8 %), *Bacteroidetes* (14,2 %), *Verrucomicrobia* (10,9 %), *Actinobacteria* (7,4 %), *Gemmatimonadetes* (7,6 %). В гнездовом материале *L. flavus* как и в муравейниках *L. niger* доминировали протеобактерии. Однако другие доминанты существенно различались. Так, доля *Actinobacteria* в гнездовом материале *L. flavus* была минимальной по сравнению с почвой и муравейниками *L. niger*, а представленность типа *Bacteroidetes* – максимальной по сравнению со всеми исследованными объектами и превышала значения в почве на порядок. Следует также отметить, что достаточно большой процент (10,9 %) занимают представители *Verrucomicrobia*, как и в контрольной почве. Микробиомы муравейников обладают максимальным разнообразием по типам микроорганизмов, что свидетельствует о значительной роли муравьев в их формировании.

В микробиоме муравьев *L. niger* отмечено доминирование типов *Proteobacteria* (40,4 %) и *Actinobacteria* (38,4 %), что полностью коррелирует с микробиомом их муравейников. В среднем обилии присутствуют микроорганизмы, относящиеся к типам *Firmicutes* (6,1 %),

Bacteroidetes (5,3 %), *Acidobacteria* (3,5 %). Следует отметить очень низкую представленность *Verrucomicrobia* (0,9 %), что на порядок ниже, чем в контрольной почве. Основные доминирующие семейства прокариот в микробиоме муравьев *L. niger*: *Microbacteriaceae*, *Micromonosporaceae*, *Nocardioideaceae*, *Acetobacteraceae*, *Burkholderiaceae*. Фирмикуты представлены преимущественно родами *Bacillus* и *Clostridium*. В целом, наблюдается значительное сходство микробиома муравьев *L. niger* с прокариотным комплексом, формирующимся в гнездах муравьев данного вида.

В микробиоме муравьев *L. flavus* доминируют типы *Proteobacteria* (32,3 %), *Firmicutes* (29,1 %), *Actinobacteria* (16,7 %), а также *Acidobacteria* (5,15 %), *Verrucomicrobia* (2,84 %). Следует особо отметить доминирование в микробиоме муравьев *L. flavus* представителей типа *Firmicutes*, который был обнаружен в других образцах лишь в качестве минорной компоненты. Среди фирмикут у муравьев *L. flavus* доминируют представители семейства *Lachnospiraceae*, которые являются одними из наиболее распространенных таксонов в рубце жвачных и кишечнике человека. Также весьма интересно присутствие в микробиоме муравьев *L. flavus* прокариот филума *Patescibacteria* (0,81%), представленного порядком *Saccharimonadales*. Это некультивируемые ультрамикробактерии с редуцированным геномом ранее были выявлены в кишечнике термитов. Таким образом, микробиом муравьев *L. flavus* значительно различался с микробиомом, формирующимся в гнездах муравьев данного вида. При сравнении микробиомов муравьев *L. niger* и *L. flavus* установлено сходство в присутствии протеобактерий (30-40%). Тем не менее, выявлены и значительные различия на уровне типов: в микробиоме муравьев *L. niger* вторыми доминантами являются *Actinobacteria* (38,4 %), а в микробиоме *L. flavus* – представители *Firmicutes* (29,1 %), представленные разными семействами. Таким образом, показано, что филогенетические близкие виды муравьев имеют в своем микробиоме существенные различия.

Следует особо отметить более высокое сходство микробного комплекса, ассоциированного с муравьями *L. niger* и гнездового материала их муравейников. В то же время у муравьев *L. flavus* формируется высокоспециализированный микробиом, имеющий черты сходства с микробиомом рубца жвачных животных и термитов. Данное микробное сообщество в меньшей степени способно адаптироваться к почвенным условиям, вследствие чего микробный комплекс, формирующийся в их гнездовом материале более близок к микробному комплексу исходной почвы. Важным результатом исследования является обнаруженное значительное различие в структуре микробиомов у филогенетически близких видов муравьев, которое вносит различный вклад в формирование почвенного микробиома в местах их массового расселения.

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что данные почвы, подверженные деградации, способны локально сохранять более высокое прокариотное разнообразие за счет активной деятельности населяющих их муравьев *L. niger* и *L. flavus*. Микробиом муравьев этих видов является главным источником для поддержания разнообразия почвенных микробных сообществ, а также источником микроорганизмов, обладающих высоким биотехнологическим потенциалом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 075-15-2021-1396.

УДК 631.46

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И РИЗОСФЕРЫ В МНОГОЛЕТНЕМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ

Н. А. Ксенофонтова¹, Д. А. Никитин¹, А. К. Тхакахова¹, С. М. Лукин², М. В. Семенов¹

¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Лаборатория почвенного углерода и микробной экологии, Москва, e-mail: n.a.ksenofontova@gmail.com

² Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал “Верхневолжский ФАНЦ”, Вяткино, Судогодский р-н, Владимирская обл.

Систематическое применение минеральных и органических удобрений является одним из обязательных компонентов интенсификации земледелия. Вносимые удобрения приводят к искусственному обогащению почвенной среды легкодоступными субстратами и биофильными элементами, что может оказывать значительное влияние на почвенный и ризосферный микробиом. Целью исследования было изучение влияния разных систем удобрения на количественные показатели различных групп микроорганизмов внекорневой агродерново-подзолистой почвы (Umbric Retisol) и ризосферы картофеля и ячменя. Исследования проводили на базе длительного полевого опыта Всероссийского научно-исследовательского института органических удобрений и торфа (ВНИИОУ) – филиале ФГБНУ “Верхневолжский ФАНЦ” в Судогодском районе Владимирской области (56°3'16" с.ш., 40°29'28" в.д.) с разными системами удобрения, который был заложен в 1968 году. Почва – агродерново-подзолистая супесчаная (Umbric Retisol). Культуры севооборота: однолетний люпин – озимая пшеница – картофель – ячмень. Изучали 4 системы удобрения: 1) без удобрений, 2) минеральная система удобрения (N100P50K120), 3) органо-минеральная система удобрения (навоз 10 т/га + N50P25K60) и 4) органическая система удобрения (навоз 20 т/га). Базальное дыхание (БД) и углерод микробной биомассы (Смик), определенный методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД), измеряли на газоанализаторе LI-850. Структуру биомассы прокариот и грибов характеризовали методом люминесцентной микроскопии с набором флуоресцентных красителей на световом микроскопе «Биомед 5 ПР ЛЮМ» с блоком PS-2 (Биомед). Тотальную ДНК выделяли из 0.25 г образцов почвы с использованием набора DNeasy PowerSoil ProKit (Qiagen, Германия), а количественная оценка копий генов разных групп микроорганизмов проводилась методом RT-PCR на амплификаторе Real-Time CFX96 Touch (Bio-Rad). Значения рН образцов агродерново-подзолистой почвы находились в диапазоне от 4.96 до 7.07. Содержание органического углерода (Сорг) варьировало в диапазоне от 0.6 % до 1.26%, увеличиваясь в ряду: без удобрений < NPK < NPK + навоз < навоз, а общего азота находилось в пределах от 0.07% в варианте без удобрений до 0.12% в варианте с внесением органических удобрений. Отношение C/N в почве варьировало в диапазоне от 8.2 до 11.9. Наименьшие значения C/N соответствовали образцам с минеральной системой удобрения, наибольшие – с органической системой. В ризосфере всех проанализированных культур отмечалось снижение содержания NO₃⁻ на фоне увеличения NH₄⁺ по сравнению с внекорневой почвой. Содержание подвижного К и Р увеличивалось в 2–4 раза при внесении любого типа удобрений по сравнению с вариантом без удобрений. Содержание Смик варьировало от 104 до 509 мкг/г почвы. Отмечался существенный рост на 25-100% значений Смик в образцах с внесением органических удобрений. Длительное внесение минеральных удобрений, напротив, приводило к снижению Смик на 20-48% по сравнению с неудобренным контролем. Содержание углерода микробной биомассы при смешанной системе удобрения были выше, чем при минеральной системе, но ниже, чем при органической, занимая промежуточное положение. В ризосфере картофеля и ячменя наблюдался рост в 1.3-1.6 раз микробной биомассы по сравнению с внекорневой почвой, при этом ризосферный эффект был особенно значим на второй срок отбора. Биомасса прокариот, определенная методом люминесцентной микроскопии, составляла от 1.38 до 5.56 мкг/г почвы, численность их клеток – от 5.60×10⁸ до 2.37×10⁹ клеток/г почвы (минимальные значения в почве без удобрений под ячменем, а максимальные в ризосфере картофеля с органо-минеральными удобрениями), а биомасса грибов варьировала в диапазоне от 65 до 474 мкг/г почвы (минимальные значения – почва с минеральными удобрениями, максимальные – ризосфера ячменя с органическими удобрениями).

Интенсивность базального дыхания (БД) варьировала от 0.17 до 0.67 мкг CO₂-C/г/час. Наибольшие значения БД отмечались в ризосфере картофеля и ячменя с внесением органических удобрений для обоих сроков отбора. Высокие значения БД были характерны для образцов со смешанной системой удобрения. Наименьшие значения БД отмечались во внекорневой почве и в ризосфере картофеля и ячменя без удобрений. Величины коэффициента qCO₂ находились в пределах от 0.83 до 2.05, возрастая в образцах с внесением минеральных и органических удобрений по сравнению с контролем.

Численность копий бактериальных генов варьировала от 1.3×10⁹ до 3.3×10¹⁰ копий генов/г почвы. Внесение минеральных удобрений резко снижало численность бактерий (в 1.5–2.5 раза), а использование смешанной или органической систем, наоборот, существенно повышало (в 2–2.5 раза) количество генов бактерий в почве, при этом такая же закономерность отмечалась и для генов архей (от 1.8×10⁸ до 1.6×10⁹ копий генов/г почвы). Численность копий рибосомальных генов ITS рРНК грибов варьировала от 6.0×10⁸ до 1.6×10¹⁰ копий генов/г почвы. Минимальные значения численности генов ITS рРНК отмечены для вариантов без удобрений и с минеральными удобрениями во внекорневой почве.

Таким образом, система удобрения оказывает ведущую роль в формировании микробиома как внекорневой агродерново-подзолистой почвы, так и ризосферы сельскохозяйственных культур. Органическая система удобрений способствует увеличению микробиома, придавая системе «почва – микроорганизмы – растение» повышенную стабильность за счет создания комфортных условий для почвенных микроорганизмов. Минеральные удобрения, даже в умеренных дозах, напротив, снижают в почве содержание углерода микробной биомассы, базального дыхания, численности копий генов всех микроорганизмов.

Работа выполнена молодежной Лабораторией почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ “Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем” (№ FGUR-2022-0018).

УДК 631.468

МЕЗОФАУНА АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ КАК СРЕДООБРАЗУЮЩИЙ ФАКТОР В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Кутовая О.В., Никитин Д.А.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, langobard@mail.ru

Биологическая активность агродерново-подзолистых почв во многом зависит от экзогенных факторов, но также может выступать средообразующим детерминантом почвенных условий в сельскохозяйственном производстве.

Исследования проводили на опытных полях института мелиорированных земель, (Тверская область, Калининский район) на дерново-подзолистой легкосуглинистой глееватой, хорошо окультуренной почве. Исследованы факторы влияния на показатели биологической активности: I – дренаж (наличие/отсутствие), фактор II – удобрения (наличие/отсутствие), фактор III – сельскохозяйственная культура (пшеница с подсевом клевера, клевер, картофель), в качестве абсолютного контроля – залежная почва вблизи опытных полей.

Проведен полевой учет численности беспозвоночных – макрофауны методом ручной разборки почвенных проб. Установлена встречаемость различных представителей почвенных беспозвоночных. Самым распространенным объектом фауны являются дождевые черви (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*). На залежных почвах зафиксированы все изученные группы фауны, кроме моллюсков и проволочников.

Поскольку дождевые черви – одна из самых многочисленных и легко учитываемых групп беспозвоночных, был проанализирован их таксономический состав и проведен учет численности. Максимальная численность червей 96 экз/м² обнаружена в варианте без

дренажа перед смешанным посевом пшеницы и клевера с удобрениями и в варианте с дренажом с клевером 1-го года использования также с удобрениями. Однако, под пшеницей с дренажом, но без удобрений дождевые черви не встречались. Также минимальная численность червей зарегистрирована под клевером без дренажа и без удобрений – 8 экз/м². На залежи численность дождевых червей была средней и составила 64 экз/м². Значимым фактором увеличения численности червей стало применение удобрений. Во всех вариантах с удобрениями численность червей выше, чем без удобрений. Это объясняется сроками зоологических исследований. В ранний весенний период достаточная влажность почвы, удобрения еще не внесены и поэтому не оказывают токсичного действия. Однако в прошедший вегетационный период удобрения дали большой прирост растительной массы, которая остается на поле в виде растительных, корневых и пожнивных остатков и активно перерабатывается дождевыми червями ранней весной. Таксономическое разнообразие дождевых червей на агродерново-подзолистой почве оказалось весьма высоким. На опытных полях было обнаружено 5 видов дождевых червей разнообразных экологических групп: истинно почвенные – *A. caliginosa*, *A. rosea*; подстилочные – *L. castaneus*; почвенно-подстилочные – *L. rubellus*, норные – *L. terrestris*.

Для оценки влияния каждого из факторов (сельскохозяйственная культура, дренаж, удобрения) на биологическую активность агродерново-подзолистой почвы был применен метод «бинарного сэмплинга». Предлагаемый алгоритм прямой выборки из дискретных распределений основан на бинаризации целевого распределения. Смысл метода заключается в создании (еще на этапе отбора проб) такого набора образцов, чтобы их можно было разделить на группы, которые различались бы только по одному из действующих экологических факторов. При сопоставлении объединенных по выбранному фактору показателей биологической активности можно выявить те индикаторные показатели, которые демонстрируют наиболее значимые различия. Порог для оценки значимости фактора определили равным $p < 0,05$.

Сравнивали парные значения параметров биологической активности одного из факторов – Дренажа. Все значения разделили на две группы – дренаж есть (осушенные почвы) и дренажа нет (почвы естественной влажности), не зависимо от применения или отсутствия удобрений и не зависимо от сельскохозяйственной культуры. Биомасса дождевых червей была значительно выше на осушенных полях. При этом численность червей значимо не изменялась, даже наоборот, была несколько ниже в осушенных делянках. При этом биомасса беспозвоночных, наоборот была больше на дренированных почвах.

Фактор применения удобрений значимо увеличил количество беспозвоночных и их биомассу. На делянках с внесением удобрений в предыдущий вегетационный период биомасса растений и их корней была выше, соответственно было больше пищи для дождевых червей, что, вероятно, и послужило причиной увеличения их численности и биомассы. Таким образом, фактор применения удобрений оказался самым сильным по влиянию на показатели биологической активности. По методу «бинарного сэмплинга» были сформированы группы по трем выбранным культурам – картофель, пшеница, клевер, не зависимо от дренажа, применения удобрений. Сравнивали парные значения (максимальный и минимальный) параметров биологической активности фактора – Культура. Только клевер первого года использования достоверно повлиял на биомассу дождевых червей.

Всем исследованным факторам подвержен один из зоологических показателей биологической активности почвы – биомасса дождевых червей. Он является лабильным даже в ранний весенний период, когда активность почвенно-биологических процессов только начинает активизироваться. Этот показатель может быть использован в качестве индикаторного показателя биологической активности и маркером изменяющихся условий и процессов в почвах сельскохозяйственных угодий.

ФОРМИРОВАНИЕ СООБЩЕСТВ ПОЧВООБИТАЮЩИХ ОРИБАТИД ЕВРОПЫ: РОЛЬ СТОХАСТИЧЕСКИХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Леонов В.Д.^{1,2}

¹Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН,

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail v.d.leonov@gmail.com

Орибатидаы или панцирные клещи — одна из основных групп почвенных животных, характеризующаяся большим разнообразием, обилием и постоянным присутствием в почве. Цель исследования — определение механизмов, лежащих в основе формирования разнообразия сообществ орибатид, посредством оценки таксономического, функционального и филогенетического разнообразия в биотопах Европы и процессов, влияющих на эти аспекты разнообразия.

Для оценки таксономического разнообразия орибатид проанализировано более 500 оригинальных исследований, выполненных на территории Европы, в которых информация о фауне орибатид в локальных сообществах установлена не менее чем в 5 образцах и дана четкая географическая привязка места проведения исследования. Для оценки функционального разнообразия сообществ орибатид для каждого вида собрана информация о форме и длине тела, а также типе хелицер. Для оценки филогенетического разнообразия на основе списка видов орибатид получено синтетическое супердревцо из проекта Open Tree of Life. α - и β - компоненты таксономического, функционального и филогенетического компонентов разнообразия рассчитаны с помощью индекса квадратичной энтропии Рао. Для оценки роли фильтра среды в формировании сообществ орибатид собрана информация о климатических переменных в рассматриваемых сообществах (WorldClim2) и состоянии растительности с применением Dynamic Habitat Indices (DHIs), которые дают информацию о накопленной и минимальной продуктивности растительного покрова, а также ее вариации в течение года на основании 5 индексов состояния растительности. Чтобы оценить влияние дистанции между изученными биотопами на аспекты разнообразия, матрица дистанций преобразована в набор собственных векторов (distance based Moran Eigenvector Maps). Для оценки влияния растительности, климата и дистанции между исследованными биотопами на различные компоненты разнообразия использован метод оценки объясненной вариации (Variation Partitioning). Он разделяет общую дисперсию изучаемой переменной (α - и β - компоненты трёх аспектов разнообразия) на части, связанные с различными факторами или источниками вариации (климатические факторы, продуктивность растительности, расстояние между сообществами).

Статистически значимое влияние рассмотренных факторов среды найдено только для α -компонентов таксономического и функционального разнообразия сообществ (Рис.1). Для данных аспектов разнообразия расстояние между сообществами определяет максимальное значение объясненной вариации. Доля необъясненной вариации таксономического α -разнообразия составляет около 50%, для функционального α -разнообразия — около 90%. Изменение филогенетического α -разнообразия и β -компонентов таксономического, функционального и филогенетического разнообразия не удалось объяснить с помощью использованного набора факторов — статистически значимое влияние отсутствовало.

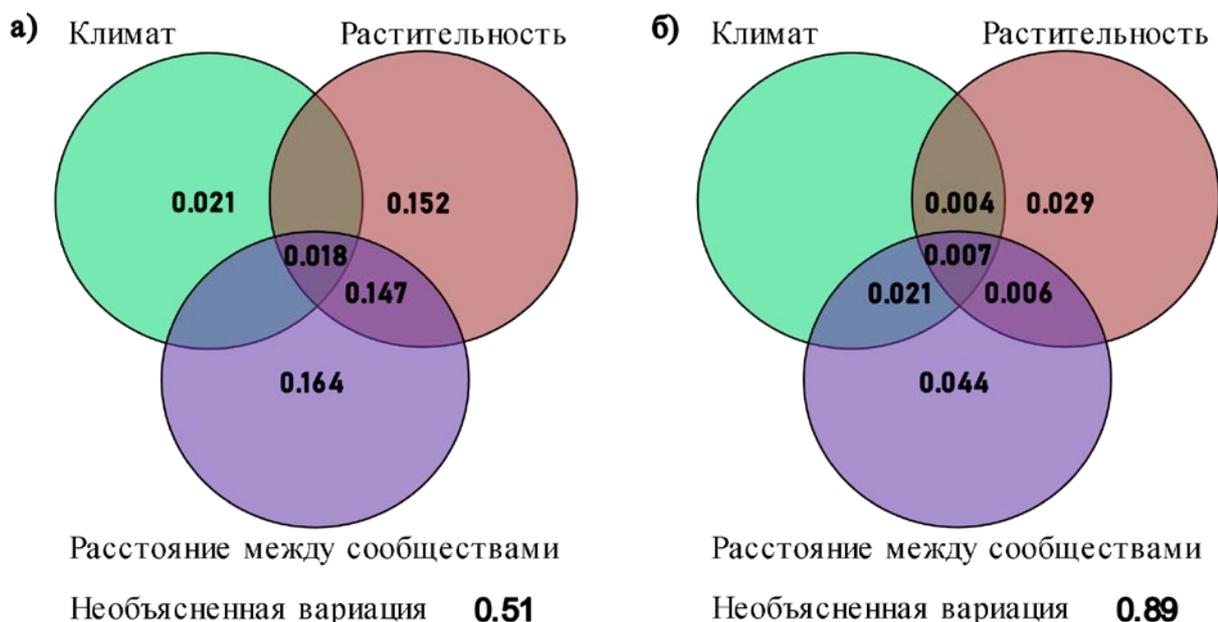


Рисунок 1. Оценка объясненной вариации для α -компонентов таксономического и функционального разнообразия почвообитающих орибатида Европы

Среди детерминистических факторов, объясняющих изменение таксономического α -разнообразия, наиболее важна роль факторов, описывающих состояние растительности: накопленный индекс листовой поверхности (LAI), коэффициент вариации LAI, накопленный индекс поглощённой фотосинтетически активной радиации (FPAR), накопленный нормализованный относительный индекс растительности (NDVI), коэффициент вариации NDVI. Среди факторов, связанных с климатом, статистически значимо влияет максимальная температура самого теплого месяца. Для функционального α -разнообразия также наиболее важна роль состояния и продуктивности растительности: коэффициент вариации LAI и коэффициент вариации вегетационного индекса EVI. Наиболее важны среди климатических переменных годовая амплитуда температур, сумма осадков самого влажного квартала года и сумма осадков самого сухого квартала года.

Среди факторов, определяющих уровни разнообразия, характер растительного покрова лучше объясняет изменение разнообразия орибатида, чем климат, что может быть связано с ведущей ролью растительности в формировании непосредственной среды обитания орибатида — почв и подстилок, и помимо этого, сглаженным воздействием климатических факторов для почвенных животных. Расстояние между биотопами оказывает более сильное влияние, чем рассмотренные детерминистические факторы, что подразумевает ограничение расселения для орибатида.

Поскольку значительная доля вариации таксономического и функционального α -разнообразия по-прежнему остается необъясненной, а изменение филогенетического α -разнообразия и β -компонент всех трех аспектов разнообразия не объясняется включенными в исследование факторами, то, вероятно, (1) другие экологические процессы и/или (2) неучтенные экологические факторы могут иметь существенное влияние на формирование этих аспектов разнообразия. Небольшая доля объясненной вариации для функционального α -разнообразия может быть связана с ограниченным набором использованных в исследовании функциональных признаков, их консервативностью, а также существованием сообществ орибатида в соответствии с нейтральной теорией биоразнообразия.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22-74-00101 “Роль факторов среды в формировании сообществ почвенных орибатида (Acari: Oribatida) Европы”

АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКРОБИОМА ПОЧВ

Манучарова Н.А., Коваленко М.А., Овчинникова Е.А., Уваров Г.В., Власова А.П., Филатов И.Д.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: manucharova@mail.ru

Почва представляет собой главный природный банк культур микроорганизмов с полезными для человека свойствами. Выяснение свойств почв, способствующих формированию и сохранению биоразнообразия, получение консорциев микроорганизмов, обладающих биотехнологическим потенциалом (способность к азотфиксации, гидролизу природных полимеров и ксенобиотиков, синтезу вторичных метаболитов) – важнейшая научная задача современной микробиологии.

Целью исследований являлось выявление специфики устойчивости и развития гидролитических (хитинолитических, углеводородокисляющих) микробных комплексов, обладающих биотехнологическим потенциалом (гидролиз природных полимеров и ксенобиотиков, способность к азотфиксации, синтез вторичных метаболитов) в почвенных экосистемах, установление закономерностей их распространения и зависимости функциональной активности от основных экологических факторов.

Проведены исследования филогенетического и функционального разнообразия микробных сообществ широкого набора почвенных объектов с различной степенью нарушенности. В качестве основного стрессорного фактора было выбрано воздействие углеводородов нефти, полиароматических углеводородов (ПАУ) и биополимера хитина в условиях *in situ* и лабораторных экспериментов. Исследовали воздействие антропогенного фактора на прокариотные сообщества почв как в природных экосистемах (например, на месте разлива нефти (чернозем, торфяная олиготрофная, дерново-подзолистая) или поступления и накопления ПАУ (дерново-подзолистая), так и в модельных опытах с искусственным добавлением углеводородов или биополимеров (чернозем, серая лесная, дерново-подзолистая, каштановая, бурая пустынно-степная, подкуранные каштановые почвы, погребенные вулканические слоисто-пепловые почвы Камчатки, грунты Антарктиды). Для наиболее полной оценки функций почвенного микробиома в работе использовали комплекс методов анализа генетической информации микробиома, ПЦР-определения генов-биомаркеров, оценки физиологически активной части микробиома и измерения функциональной активности.

С применением молекулярно-биологических методов и биоинформатического анализа исследовано филогенетическое и функциональное разнообразие прокариотного комплекса почвенных микрочисел. Установлено снижение биомассы и альфа-разнообразия, а также смена метаболически активных доминантов – представителей доменов Bacteria и Archaea за счет выхода в доминанты определенных родов – автохтонной микрофлоры, специфичной для определенных условий в микрочислах, загрязненных нефтью по сравнению с контрольными образцами в процессе микробной сукцессии. Для образцов нефтезагрязненных почв южных широт доминирующая роль принадлежала представителям актинобактерий, для почв центральной и северной широт – протеобактериям.

Наряду с сокращением разнообразия и численности прокариот в почвах, подверженных антропогенным или абиогенным нагрузкам установлено возрастание количества генов, маркирующих способность сообщества к биодеградации ксенобиотиков, генов, кодирующих превращения азота и уровень метаболизма кофакторов и витаминов. На фоне сокращения биоразнообразия в загрязненных образцах по сравнению с контролем определено увеличение содержания функциональных генов (в 2-4 раза), отвечающих за синтез катехол-диоксигеназы (*xylE*), алкан-монооксигеназы (*alkB*) и 1,2-гидроксиафталиндиоксигеназа (*nahC*), маркирующих начальный этап деградации углеводородов. При анализе функционального генетического разнообразия сообщества методом восстановления полного метагенома по данным высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК было выявлено, что

количество генов, маркирующих способность сообщества к биодegradации ксенобиотиков выше в многолетнемерзлых грунтах по сравнению с современными почвами. Внесение субстрата увеличивает долю генов, ответственных за деградацию ксенобиотиков. На длительных сроках загрязнения наблюдается последствие поллютанта и дальнейшее снижение разнообразия при одновременном увеличении численности функциональных генов в сравнении со свежим разливом.

Показано наличие ряда ключевых генов цикла азота (*nifH*, *amoA*, *nirK*, *chitA*) как в современных, так и погребенных горизонтах исследуемых почв. Наличие копий гена *nifH* бактерий азотфиксаторов, способных обеспечить систему азотом можно рассматривать как один из этапов самовосстановления почв. В современных почвах наличие генов, отвечающих за возможность фиксации молекулярного азота из воздуха было выше по сравнению с погребенными и достигало 4.54×10^6 копий гена/г.п., для погребенного горизонта 2.5×10^4 копий гена/г.п. Важно отметить присутствие, хотя и незначительное, гена *nifH* в более глубоких слоях почвы, что указывает на возможный потенциал обитающих там микробных сообществ. Для вулканических почв (как современных, так и погребенных) удалось выявить наличие генов аммоний окисляющих бактерий и архей. Динамика присутствия гена *amoA* в современном горизонте вулканической перегнойно-охристой почвы демонстрирует увеличение его концентрации в бактериальном комплексе в вариантах с нефтью (2.3×10^7 копий ДНК/г.п.) к 10 суткам сукцессии. Бактериальный комплекс способен к нитрификации при высоком загрязнении почвы нефтью, а также его роль возрастает в нижних слоях почвенного профиля.

Таким образом, влияние антропогенной нагрузки изменяет «метаболический профиль» почвенных сообществ, что выражается, как в увеличении количества микроорганизмов, обладающих биотехнологически ценными свойствами (кол-во функциональных генов), так и в изменении состава этих микроорганизмов, что открывает возможность для поиска новых биотехнологически ценных штаммов.

УДК 57.02, 579.26,

ДРОЖЖИ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С МУРАВЬЯМИ РОДА *FORMICA*

Меркель К.П., Максимова И.А.

МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, neovison.vison@yandex.ru

Известно, что дрожжи ассоциированы с различными беспозвоночными животными. Так, например, описаны примеры симбиоза дрожжей со многими представителями отрядов жесткокрылых (*Coleoptera*), двукрылых (*Diptera*) и перепончатокрылых (*Hymenoptera*), в которых дрожжи предположительно являются основным источником пищи их личинок. В ходе ряда исследований, выполненных в нашей лаборатории в разные годы, было показано, что тесные ассоциации обнаружены между дрожжами семейства *Debaryomycetaceae* и муравьями рода *Formica*. В частности, было показано, что эти дрожжи постоянно присутствуют в материале муравейников *Formica rufa* и близкого к нему вида *F. aquilonia*, а также на поверхности самих насекомых, причем в почвах вокруг муравейников или на других сопряженных субстратах эти дрожжи встречаются очень редко или не встречаются вовсе.

Муравьи являются насекомыми с полным превращением, и их разные онтогенетические стадии характеризуются различными экологическими особенностями. Так как наибольшее количество дрожжей, в ходе наших предварительных исследований, было обнаружено в камерах с расплодом, мы предположили, что дрожжи необходимы муравьям также в качестве корма личинок. В связи с этим мы решили изучить дрожжевое население представителей разных онтогенетических стадий муравьев и таким образом попытаться выяснить, верна ли наша гипотеза

В качестве объектов исследования нами были использованы четыре вида муравьев: *F. aquilonia*, *F. cunicularia*, *F. pratensis*, *F. rufa*. Выбор данных видов муравьев обусловлен их принадлежностью к интересующему нас роду *Formica*, а также их широким распространением в европейской части России. Представители *F. rufa* были отобраны нами в 2021 году в окрестностях Звенигородской биологической станции (Московская область), в 2022 году – в окрестностях Обнинска и Боровска (Калужская область), в 2023 году – в окрестностях ООПТ Тульские засеки (Тульская область); *F. cunicularia* – в июне 2023 года в окрестностях села Полибино (Липецкая область); *F. pratensis* – в июне 2023 года в окрестностях ООПТ Тульские засеки (см. выше); *F. aquilonia* – в июле 2023 года в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ (республика Карелия и Мурманская область). Всего нам удалось отобрать 821 особей: *F. aquilonia* (личинки – 13, куколки – 33, имаго – 39 особей), *F. cunicularia* (куколки – 24, имаго – 22), *F. pratensis* (личинки – 30, куколки – 28, имаго – 22), *F. rufa* (куколки – 130, имаго – 470).

Для изучения дрожжевого населения муравьев нами был использован метод посева на плотную питательную среду. Для этого мы гомогенизировали муравьев из каждой онтогенетической группы с помощью силиконового пестика, и приготовленный гомогенат высевали на глюкозо-пептонно-дрожжевой агар, в который для подавления бактерий был добавлен левомицетин. Посевы инкубировали в течение 5-7 дней при комнатной температуре, затем проводили учет численности колониеобразующих единиц (КОЕ) и идентификацию культур дрожжей на основании морфологических признаков и анализа нуклеотидных последовательностей региона ITS1-5.8S-ITS2 и D1/D2 домена 26S (LSU) рДНК.

Дрожжи были нами обнаружены у всех онтогенетических групп, однако их численности достоверно различаются (табл.). Максимальные значения численности дрожжей были отмечены нами на куколках *F. aquilonia* ($2,2 \cdot 10^4$ КОЕ/особь) и *F. rufa* ($3,8 \cdot 10^3$ КОЕ/особь), на личинках и имаго всех видов муравьев численность дрожжей не превышала $9,3 \cdot 10^2$ КОЕ/особь.

Дрожжевое население муравьев было представлено всего двумя видами аскомицетов: *Debaryomyces hansenii* и *Schwanniomyces polymorphus*, при этом вид *Debaryomyces hansenii*, который, исходя из литературных и наших предыдущих данных, является частым спутником муравьев, был нами обнаружен только на муравьях *F. aquilonia* и *F. rufa*. В целом, дрожжевое население муравьев *F. aquilonia* оказалось многочисленнее, чем на более подробно изученных ранее муравьях *F. rufa*. Мы предполагаем, что эти и другие особенности дрожжевого населения муравьев, выявленные нами, могут быть связаны с тем, что, по крайней мере, из муравейников *F. rufa* и *F. cunicularia* отбор образцов был произведен на более позднем этапе жизненного цикла – данный вывод напрашивается в связи с тем, что при отборе образцов нам не удалось обнаружить личинок в камерах с расплодом, по всей видимости, они уже окуклились. Тем не менее, выявленные нами особенности дрожжевого населения муравьев, относящихся к разным онтогенетическим группам, а именно то, что максимальная численность дрожжей обнаружена нами на стадии, когда муравьи не питаются, позволяют нам сделать предположение о том, что дрожжи являются для муравьев скорее не источником белка, а источником линочного гормона экдизона – стероидного гормона, стимулирующего процессы линьки и метаморфоза у ряда насекомых с полным превращением. Известно, что у *Drosophila melanogaster* наибольшее количество экдизонов наблюдается именно на стадии куколки, так же известно, что источником экдизона для них служат дрожжи, в частности, *Saccharomyces cerevisiae*, без которых невозможен метаморфоз дрозофил. Косвенным подтверждением данной гипотезы может служить еще и тот факт, что на образцах имаго, в связи с отсутствием у них линочных процессов, дрожжи практически не встречались, а небольшое количество обнаруженных дрожжей у имаго *F. aquilonia*, по-видимому, может быть связано с недавним выходом данных особей из куколки.

Таблица. Встречаемость и численность дрожжей у разных онтогенетических групп муравьев

Вид муравья	Онтогенетическая группа	Встречаемость (%)	Вид дрожжей			
			<i>Debaryomyces hansenii</i>		<i>Schwanniomyces polymorphus</i>	
			Медиана	Максимум	Медиана	Максимум
<i>F. aquilonia</i>	Личинки	25	0	8,3	0	0
	Куколки	82,4	$2,5 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^4$	0	$8,6 \cdot 10^3$
	Имаго	56,4	8	$4,2 \cdot 10^3$	0	$1,6 \cdot 10^2$
<i>F. cunicularia</i>	Куколки	41,7	0	0	0,6	$1,6 \cdot 10^1$
	Имаго	27,3	0	0	0,2	4,7
<i>F. pratensis</i>	Личинки	16,7	0	0	0	$9,4 \cdot 10^1$
	Куколки	7,1	0	0	0	$2,2 \cdot 10^2$
	Имаго	31,8	0	0	0	$9,9 \cdot 10^1$
<i>F. rufa</i>	Куколки	40,8	0	$1,2 \cdot 10^3$	2,5	$2,6 \cdot 10^3$
	Имаго	16	0	$1,1 \cdot 10^3$	0	8,3

УДК 631.453:631.445.41:632.122.2

ФЕРМЕНТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВ СВИНЦОМ

Минникова Т.В.

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail loko261008@yandex.ru

Почвы разных климатических зон имеют разную степень чувствительности к загрязнению тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами. Наиболее простым методом оценки экологического состояния и здоровья почвы является определение активности почвенных ферментов. При загрязнении почв нефтяными углеводородами происходит нарушение соотношения между С:N:S ввиду привноса нефти как источника антропогенного углерода. Тяжелые металлы повышают токсичность почвы и оказывают неблагоприятное воздействие на активность почвенных ферментов. Таким образом вследствие химического загрязнения происходит нарушение биогеохимических циклов и ухудшение экологического состояния почв.

Цель – оценить применение ферментов как индикаторов биогеохимических циклов при загрязнении почв свинцом.

Объекты исследования — это почвы, отличающиеся по своему гранулометрическому составу: тяжелосуглинистые (лугово-черноземная почва, чернозем южный), среднесуглинистые (солончак типичный, темно-серая почва), легкосуглинистые (бурая полупустынная почва), супесь (дерново-подзолистая иллювиально-железистая почва) почвы. Для моделирования процесса загрязнения каждую почву вносили свинец в дозах 1, 10 и 100 ПДК (1 ПДК=100 мг/кг). Почву увлажняли и инкубировали в лабораторных условиях в течение месяца. Для диагностики экологического состояния и здоровья почв анализировали изменение активности ферментов классов оксидоредуктазы (каталаза, дегидрогеназы, цистеинредуктаза) и гидролазы (инвертаза, уреазы и фосфатаза). Эти ферменты участвуют в биогеохимических циклах С, N, S, P, O. Определение активности каталазы, дегидрогеназ,

цистеинредуктазы, инвертазы и уреазы выполнено согласно Ф.Х. Хазиеву с авторскими модификациями (2005). Активность фосфатазы определяли согласно Tabatabai и Dick (2002). На рис. Представлено, что среди изученных почв наименьшей активностью каталазы обладают солончак (4.2-4.7 мл O_2 /1г/1мин), бурая полупустынная (3.6-4.3 мл O_2 /1г/1мин), темно-серая почва (3.2-3.8 мл O_2 /1г/1мин), дерново-подзолистая иллювиально-железистая почва (1.4-2.2 мл O_2 /1г/1мин). Наибольшая активность дегидрогеназ несмотря на загрязнение Pb установлена в солончаке (16.6-34.0 мг ТФФ / 1 г / 24 ч), и темно-серой лесной почве (32.9-44.6 мг ТФФ / 1 г / 24 ч). Наименьшая активность фермента обнаружена в дерново-подзолистой иллювиально-железистой почве - 9.1-10.0 мг ТФФ / 1 г / 24 ч. Наибольшая активность инвертазы при загрязнении Pb установлена в лугово-черноземной почве (37.3-64.1 мг глюкозы / 1 г / 24 ч), солончаке (18.8-54.6 мг глюкозы / 1 г / 24 ч), темно-серой лесной почве (50.8-61.4 мг глюкозы / 1 г / 24 ч). Наименьшая активность фермента установлена в бурой полупустынной почве (10.2-16.5 мг глюкозы / 1 г / 24 ч) и дерново-подзолистой иллювиально-железистой (6.2 - 12.6 мг глюкозы / 1 г / 24 ч). Наибольшая активность цистеинредуктазы несмотря на загрязнение почв Pb установлена в солончаке (162.2-946.0 мг формазана / 10 г / 2 ч), дерново-подзолистые иллювиально-железистой почве (37.5 – 569.6 мг формазана / 10 г / 2 ч). Наибольшая активность фосфатазы установлена в солончаке типичном (149-177 мкг п-нитрофенола в 1 грамме почвы за 1 ч), темно-серой почв (136-159 мкг п-нитрофенола в 1 грамме почвы за 1 ч) и черноземе южном (99-154 мкг п-нитрофенола в 1 грамме почвы за 1 ч). Наименьшая активность фосфатазы установлена в бурой полупустынной почве - 33.8-47.2 мкг п-нитрофенола в 1 грамме почвы за 1 ч. Наибольшая активность уреазы несмотря на загрязнение Pb установлена в темно-серой лесной - 30.5 - 51.7 мг NH_3 в г почвы за 24 ч. Наименьшая активность уреазы установлена в бурой полупустынной почве - 5.8-10.6 мг NH_3 в г почвы за 24 ч.

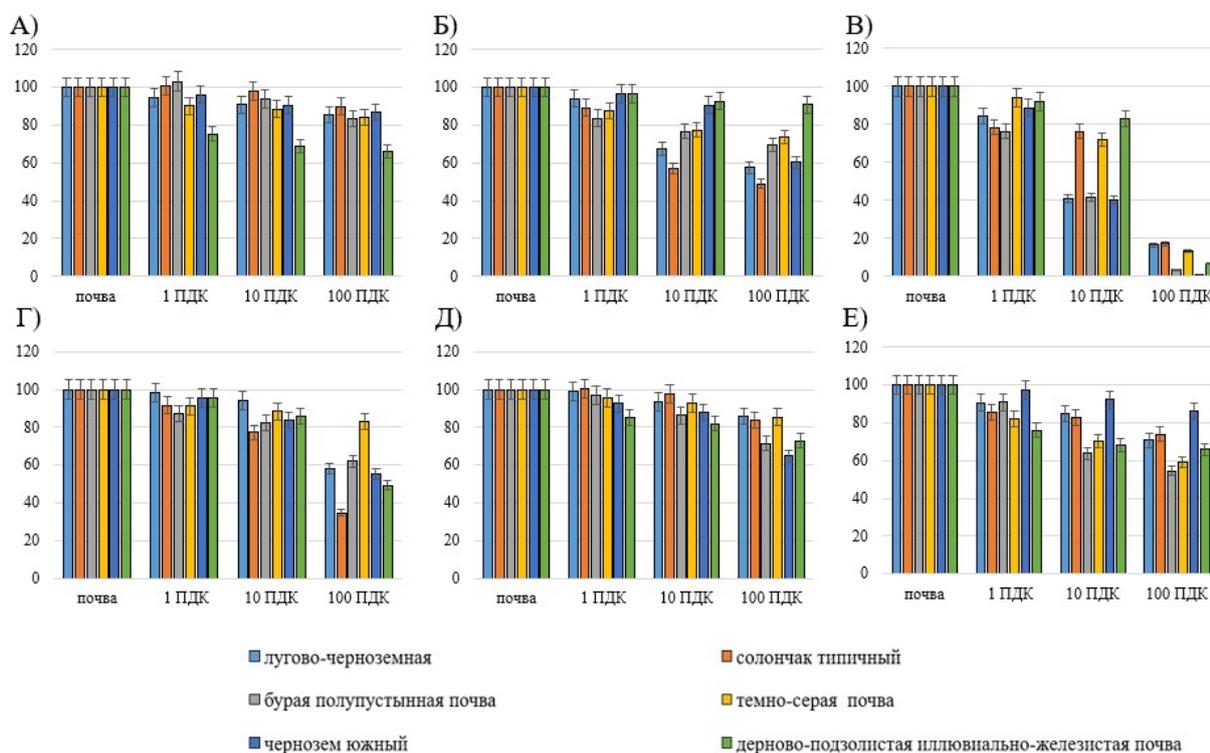


Рис. Изменение активности почвенных ферментов при загрязнении почв свинцом: А) каталаза; Б) дегидрогеназы; В) цистеинредуктаза; Г) инвертаза; Д) фосфатаза; Е) уреазы. Загрязнение почв разных климатических зон свинцом оказывает значительное воздействие на ферментативную систему почв. Установлено, что наиболее устойчивыми к загрязнению свинцом являются, темно-серые почвы, черноземы южные, лугово-черноземная и бурая

полупустынная, а наименее устойчивые - дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы и солончак типичный. Для чернозема южного и дерново-подзолистой иллювиально-железистой почв цистеинредуктаза самый информативный и чувствительный фермент. Для остальных почв самыми информативными ферментами являются фосфатаза и каталаза. Таким образом, цикл S (цистеинредуктаза) в почвах, загрязненных свинцом, является наиболее уязвимым. Неустойчивостью в загрязненных свинцом почвах также обладает P (фосфатаза) и окислительно-восстановительные ферменты (каталаза). Циклы C (инвертаза, дегидрогеназа) и N (уреаза) при загрязнении тяжелыми металлами изменяются не так значительно.

Результаты исследования возможно использовать при оценке экологического состояния почв разных климатических зон, загрязненных свинцом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») (№ СП-12-23-01), Министерства науки и высшего образования РФ, лаборатории «Здоровье почвы» Южного федерального университета (соглашение № 075-15-2022-1122), проекта Минобрнауки России «Лаборатория молодых ученых» в рамках Межрегионального научно-образовательного центра Юга России (№ ЛабНОЦ-21-01АБ, FENW-2021-0014).

УДК 631.452

ОЦЕНКА НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПО БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Н. А. Михайловская, Е.Г. Мезенцева, С. А. Касьянчик, А.В. Юхновец
Институт почвоведения и агрохимии, Минск, e-mail: bionf1@yandex.ru

Минерализация и гумификация органических остатков – важнейшие функции почвы. В современных условиях необходимо контролировать способность почвы выполнять эти функции и своевременно выявлять потенциальные риски снижения плодородия. Принимая во внимание биохимическую природу минерализации и гумификации, целесообразно использовать показатели ферментативной активности. Ферменты – важнейшие метаболиты микроорганизмов. Выбор биохимических показателей в качестве диагностических обусловлен их тесной корреляцией с органическим веществом. Однако ферментативные показатели практически не используются для оценки активности минерализации и гумификации органических веществ. Одна из причин – сложность выбора энзиматических тестов для диагностических задач. Необходимо выделить наиболее значимые биохимические показатели.

Наибольший интерес представляют два класса ферментов – гидролазы и оксидазы, выполняющие критические функции – минерализацию и гумификацию органических веществ. Целесообразно принимать во внимание наиболее масштабные и универсальные процессы в циклах основных биогенных элементов – углерода и азота. По значимости можно выделить ключевые гидролитические ферменты, обеспечивающие разложение наиболее распространенных органических форм нахождения углерода (С) и азота (N) в почве. Интенсивность минерализации в цикле С целесообразно оценивать по ферментативному гидролизу полисахаридов, представляющих основную форму органического углерода в почвах. Наиболее значимым полисахаридом, поступающим в почву, является целлюлоза, гидролиз которой представляет многостадийный процесс. По данным Звягинцева Д.Г. объективную оценку интенсивности многостадийных процессов дает определение активности ферментов завершающих стадий гидролиза, в цикле С целесообразно использовать инвертазную активность. Выбор инвертазы в качестве диагностического показателя минерализации обусловлен ее критической ролью в высвобождении конечных продуктов минерализации – низкомолекулярных сахаров. Инвертазная активность тесно положительно коррелирует с содержанием гумуса в почве ($R^2 = 0,88-0,92$ при $P \leq 0,05$).

В цикле азота универсальный минерализационный процесс – аммонификация, в результате которой органический азот переходит в доступную форму. На разных этапах аммонификации действуют специфические гидролитические ферменты. На завершающих стадиях, обеспечивающих образование аммония, действуют амидогидролазы, к которым относится уреазы. Интенсивность минерализации в цикле N целесообразно определять по активности почвенной уреазы. Установлена тесная положительная корреляция активности уреазы с содержанием гумуса ($R^2 = 0,72-0,79$ при $P \leq 0,05$) в почве.

Универсальным и масштабным процессом, приводящим к образованию органического вещества, является гумификация лигнинов. По современным представлениям начальные стадии разложения лигнина носят окислительный характер. Основополагающим процессом считается окислительная полимеризация соединений фенольной природы с N-содержащими органическими соединениями. Катализаторами гумификации разлагающегося лигнина считаются микробные оксидазы – полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО), регулирующие окисление ароматических соединений до хинонов, которые конденсируются с азотсодержащими органическими соединениями с образованием гуминовых кислот. Полифенолоксидазы осуществляют процессы окисления за счет кислорода воздуха, пероксидазы – за счет кислорода перекиси водорода. Активность оксидаз служит показателем скорости процессов гумификации в цикле C. Теснота взаимосвязи активности почвенных пероксидаз с содержанием гумуса в почве характеризуется $R^2 = 0,81-0,94$, для полифенолоксидаз – $R^2 = 0,62-0,84$ ($P \leq 0,05$).

Таким образом, в качестве показателя скорости гидролитической трансформации полисахаридов в цикле C предлагается использовать инвертазную активность, в качестве характеристики скорости аммонификации в цикле N – уреазную активность и для оценки скорости гумификации лигнинов растительных остатков – активность почвенных полифенолоксидаз и пероксидаз. Для интерпретации результатов ферментативной диагностики почвы разработан результирующий оценочный показатель – биохимический коэффициент K_6 , представляющий соотношение средних данных по скорости гумификации (полифенолоксидаза и пероксидаза) и минерализации (инвертаза и уреазы), выраженных в относительных единицах. K_6 – информативный диагностический показатель, учитывающий 4 ключевых биохимических параметра, что позволяет сравнивать скорости гумификации и минерализации, выявлять их баланс или дисбаланс и нормировать антропогенную нагрузку. Близкие к единице значения K_6 указывают на сбалансированность минерализации и гумификации, снижение K_6 ($K_6 < 1$) указывает на преобладание минерализации, его повышение ($K_6 > 1$) – свидетельствует о более активном протекании гумификации. Для иллюстрации потенциальных возможностей ферментативной диагностики приведены результаты ее трехлетнего применения для оценки влияния азотных удобрений на процессы минерализации и гумификации в средне окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве (табл. 1). На фоне последствия 40 т/га навоза (фон 1) и при его сочетании с N_{54} процессы минерализации и гумификации сбалансированы, K_6 в пределах 0,98–1,02 (2 %). На фоне 2 относительный баланс минерализации и гумификации отмечается по последствию 40 т/га навоза в сочетании с N_{54} , K_6 снижается до 0,95–0,96 (4–5 %). При среднегодовых дозах N_{84} и N_{96} отмечается существенное снижение K_6 – до 0,89–0,91 (9–11 %), что указывает на преобладание минерализации и представляет потенциальный риск снижения плодородия. Для сохранения плодородия целесообразно ограничение доз азотных удобрений до N_{54} , что не приводит к дисбалансу процессов минерализации и гумификации. Биохимическая диагностика позволяет нормировать нагрузку по азотным удобрениям для сохранения плодородия почвы.

Таблица 1. Влияние азотных удобрений на биохимический статус средне окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы

Вариант	Инвертаза, мг глюкозы/кг (%)	Уреаза, мг N-NH ₄ /кг (%)	M %	ПФО	ПО	Г %	К ₆ (Г/М)
				мг хинона/кг (%)			
Без удобрений	2389 (100)	175 (100)	100	36,6 (100)	32,7 (100)	100	1,00
ОУ – фон 1	2490 (104)	193 (110)	107	40,6 (111)	35,2 (108)	109	1,02
фон 1 + N ₅₄	2556 (107)	198 (113)	110	39,9 (109)	35,0 (107)	108	0,98
фон 1 + N ₈₄	2609 (109)	208 (119)	114	39,9 (109)	34,5 (106)	107	0,94
ОУ+P ₇₀ K ₁₅₀ –фон 2	2626 (110)	197 (112)	111	39,6 (108)	34,7 (106)	107	0,96
фон 2 + N ₅₄	2700 (113)	207 (118)	116	40,3 (110)	36,0 (110)	110	0,95
фон 2 + N ₈₄	2747 (115)	228 (130)	123	41,0 (112)	36,3 (111)	112	0,91
фон 2 + N ₉₆	2938 (123)	235 (134)	129	43,5 (119)	36,6 (112)	115	0,89
НСР ₀₅	29,1	5,2		1,34	1,44		

ОУ – последствие 40 т/га навоза, М – минерализация %, Г – гумификация %, ПФО – полифенолоксидаза, ПО – пероксидаза

УДК 631.465

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ ПОЛУОСТРОВА РЫБАЧИЙ

Мязин В.А.

Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, myazin-va@rudn.ru

Полуостров Рыбачий – самая северная территория континентальной европейской части России. Растительный покров полуострова представляет собой тундру на территории восточной Фенноскандии, занимающую сравнительно узкую полосу вдоль Баренцева моря. Почвы полуострова Рыбачий изучены достаточно подробно, однако их биологическая активность практически не исследована. Низкие температуры и преобладание мохово-лишайниковых ассоциаций в растительном покрове тундровых почв создают специфические условия для микроорганизмов, выполняющих важные биогеохимические функции.

В почвенном покрове полуострова Рыбачий обширные площади занимают сухоторфяные почвы (Folic Histosol) и подзолы (Albic Podzols и Entic Podzols). Пониженные элементы рельефа полуострова заняты гидроморфными торфяно-болотными почвами (Dystric Rheic Histosols), а в условиях проточных впадин формируются торфяные эвтрофные почвы (Eutric Rheic Histosols). Вдоль моря, на прибрежных лугах выделяется полоса лептосолей (Folic Leptosols), что связано с переносом органического материала во время штормов. На вершинах плато формируются округло-пятнистые криогенные комплексы со слабо развитыми почвами (Skeletal Leptic Entic Podzols).

Активность почвенных ферментов является интегральным показателем функциональной активности почвенной микробиоты. Активность гидролитических ферментов достигала 205.7 мг глюкозы/г для инвертазы и 146 мг NH₃/10 г для уреазы в торфяной болотной почве (Rheic Histosol). Активность дегидрогеназы была максимальной в подзолах мохово-лишайниковой тундры на вершине плато (2.99 мг ТФФ/10 г). Более низкими значениями дегидрогеназной активности характеризовались подзолы кустарничковой тундры и березового криволесья. Минимальная активность как гидролитических ферментов, так и дегидрогеназы, отмечена для почвы криогенного пятна (таблица).

Таблица. Ферментативная активность почв полуострова Рыбачий

	Уреаза, мг NH ₃ /10 г	Инвертаза, мг глюкозы/г	Дегидрогеназа, мг ТФФ/10 г
Skeletal Folic Leptic Entic Podzol	71±20	83±31	2.23±0.43
Rheic Leptic Rockic Histosol	146±32	206±42	2.1±0.17

Skeletal Follic Leptic Albic Podzol	110±40	67±8	0.95±0.35
Skeletal Leptic Entic Podzol—cryogenic spot	3±0.5	1.7±0.5	0.25±0.11
Leptic Hemic Follic Histosol	75±50	90±25	0.95±0.35

В соответствии с полученными значениями ферментативной активности исследованные тундровые почвы можно отнести к почвам с высокой и очень высокой биологической активностью (за исключением криогенных пятен). Активность инвертазы и уреазы сопоставима или даже выше значений для почв более южных регионов, тогда как активность дегидрогеназы в 2–5 раз ниже. В то же время многочисленные исследования показали, что большинство почв Арктики (остров Большой Соловецкий, мыс Белый Нос, остров Вайгач, архипелаг Новая Земля, остров Гукера Земли Франца-Иосифа, остров Матвеева, Оранские острова) имели низкую активность уреазы.

Считается, что в генетически различных почвах, а также в пределах почвенного профиля существует положительная корреляция между активностью ферментов и содержанием органического углерода. В профиле тундровых почв полуострова Рыбачий максимальная активность ферментов ожидаемо наблюдалась в верхних горизонтах почвы. Ферментативная активность почвы снижалась вниз по профилю, что положительно коррелирует с содержанием органического вещества ($r = 0,660-0,998$) и отрицательно – с рН ($r = 0,708-0,996$). В генетически различных почвах полуострова Рыбачий значимой связи между активностью ферментов и содержанием органического углерода не выявлено, но в то же время установлена отрицательная связь между активностью гидролитических ферментов и значением рН верхнего горизонта почвы ($r = 0,71-0,83$; $t = 2,85-4,37$; $df = 8$, $p = 0,05$).

Анализ полученных результатов не показал какого-либо статистически значимого влияния структуры или биомассы микроорганизмов на активность гидролитических ферментов различных почв, но обнаружена отрицательная корреляция между биомассой микромицетов и активностью дегидрогеназы ($r = -0.78$; $t = 4.05$; $df = 8$, $p = 0.05$). Высокая дегидрогеназная активность наблюдалась в почвах с относительно низкой биомассой грибов. Есть мнение, что основной вклад в продукцию этих ферментов вносят бактерии, однако достоверного влияния численности бактерий или биомассы прокариот на активность дегидрогеназы обнаружено не было.

Несмотря на низкую численность и биомассу микроорганизмов по сравнению с более южными районами, тундровые почвы обладают высокой ферментативной активностью. Олиготрофность, низкая биомасса и количество культивируемых бактерий и грибов в почвах полуострова Рыбачий являются адаптивными характеристиками микробиоты арктических регионов. Адаптация почвенного микробиома к условиям Субарктики сохраняет высокую ферментативную активность и в целом определяет высокую биологическую активность торфяных и сухоторфяных почв.

УДК 631.46

ВНЕСЕНИЕ СОЛОМЫ КАК ФАКТОРА ВЛИЯНИЯ НА СТРУКТУРУ МИКРОБИОМА И ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА В АГРО-ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Д. А. Никитин¹, М. В. Семенов¹, Н. А. Ксенофонтова¹, А. К. Тхакахова¹, И. В. Русакова², С. М. Лукин²

¹Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, e-mail: dimnik90@mail.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал “Верхневолжский ФАНЦ”, Вяткино, Судогодский р-н, Владимирская обл.

Почвенное органическое вещество (ПОВ) является крупнейшим депозитарием элементов питания растений, обеспечивая агроэкологические функции почвы. Минерализация органического углерода (C_{org}) в ходе сельскохозяйственной обработки почвы приводит к деградации ее агрономически ценных свойств. Одним из наиболее простых и дешевых

способов увеличения содержания ПОВ и секвестрации $C_{орг}$ является заделывание в почву растительных остатков, в качестве которых может выступать солома. Ее внесение приводит к росту биологической активности почвы, что повышает микробный пул ПОВ, но может привести к ускоренной минерализации $C_{орг}$. Использование минеральных удобрений необходимо для получения больших урожаев, однако часто угнетает почвенный микробиом. Заделывание соломы теоретически должно нивелировать негативные эффекты от минеральных удобрений на почвенный микробиом, но эта гипотеза пока не проверена. Цель работы – оценка влияния соломы на численность клеток и копий рибосомальных генов, а также величину и структуру биомассы микроорганизмов в дерново-подзолистой почве в условиях длительного полевого эксперимента.

Объекты исследования агродерново-подзолистая супесчаная почва (Umbric Retisol) в многолетнем полевом опыте, заложенном в 1997 г. на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института органических удобрений и торфа (ВНИИОУ) – филиале ФГБНУ “Верхневолжский ФАНЦ” в Судогодском районе Владимирской области (56°3'16" N, 40°29'28" E), в пятипольном зернопропашном севообороте: озимая пшеница, люпин (на зерно), картофель, ячмень, однолетние травы (люпин + овес). Варианты опыта: контроль без удобрений (V1 и V5); N54P51K57 (среднегодовая доза) (V2 и V6); N54P51K57 + солома озимой пшеницы, люпина, ячменя по 3 т/га (V3 и V7); солома озимой пшеницы, люпина, ячменя по 3 т/га (V4 и V8).

Содержание $C_{орг}$ и общего азота ($N_{общ}$) в почве определяли на автоматическом HCNS-анализаторе Leco 932 (США). Величины водного рН почвы измеряли потенциометрическим способом при соотношении почва:вода, равном 1:2.5. Содержание подвижных соединений фосфора ($P_{подв}$) и калия ($K_{подв}$) определяли по методу Кирсанова.

Углерод микробной биомассы ($C_{мик}$) оценивали методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) с помощью газоанализатора LI-850. Базальное дыхание (БД) определяли на газоанализаторе LI-850 так же, как СИД, только вместо раствора глюкозы в почву добавляли дистиллированную воду. Структуру биомассы прокариот и грибов характеризовали методом люминесцентной микроскопии с набором флуоресцентных красителей на световом микроскопе «Биомед 5 ПР ЛЮМ» с блоком PS-2 (Биомед). Тотальную ДНК выделяли из 0.25 г образцов почвы с использованием набора DNeasy PowerSoil ProKit (Qiagen, Германия) и гомогенизатора Precellys 24 (Bertin Technologies, Франция) при скорости 6500 об./мин в течение 40 с. Количественную оценку содержания рибосомальных генов микроорганизмов осуществляли методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени на амплификаторе Real-Time CFX96 Touch (Bio-Rad).

Внесение минеральных удобрений и соломы приводило к незначительному уменьшению рН по сравнению с контролем. Содержание $C_{орг}$ изменялось от 0.49 в вариантах с минеральными удобрениями до 0.72% в образцах с соломой. Количество $N_{общ}$ варьировало от 0.05 до 0.07%, отношение C/N находилось в диапазоне от 9.0 до 11.8. Для обоих сроков отбора выявлено увеличение C/N, $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в ряду: контроль < NPK < NPK + солома < солома. Содержание $K_{подв}$ менялось от 54 до 107 мг/кг; $P_{подв}$ – от 98 до 173 мг/кг; аммонийного азота – от 5.07 до 8.5 мг/кг. Минимальные значения $K_{подв}$ и $P_{подв}$ отмечены для контроля, а максимальные – для вариантов NPK и NPK+солома.

Заделывание (42 т/га) соломы зерновых и зернобобовых культур в 1.25–2 раза увеличивало $C_{мик}$ в пахотном слое, а максимальное увеличение микробной биомассы характерен для полей без внесения минеральных удобрений. Базальное дыхание и дыхательный коэффициент (qCO_2) возрастали в ряду: контроль < NPK < NPK + солома < солома. использование минеральных удобрений снижало qCO_2 , биомассу грибов и количество копий генов архей в 1.5–3.0 раза. Соотношение грибы:бактерии (по люминесцентной микроскопии) варьировало от 4 до 15, а по результатам количественной ПЦР – от 0.17 до 0.33. Наименьшие значения выявлены для вариантов с внесением минеральных удобрений, а максимальные - на полях с заделыванием соломы

В целом, внесение соломы оказывала положительное действие на основную часть микробиологических параметров агродерново-подзолистой почвы. Минеральные удобрения, напротив, негативно отражались на величине qCO_2 , биомассу грибов и численность копий генов 16S рРНК архей. Таким образом, заделывание соломы приводит к повышению микробиологической активности почвы и увеличению плодородия. Подтверждена заявляемая гипотеза о нивелировании негативного воздействия минеральных удобрений на почвенный микробиом. В то же время показано, что для части рассмотренных показателей микробиоты ($C_{мик}$, $C_{мик}/C_{орг}$, биомасса прокариот, БД, численность копий генов 16S рРНК бактерий и ITS рРНК грибов) фактор сезона был главенствующим по сравнению с факторами внесения минеральных удобрений и соломы.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания FGUR-2022-0018 “Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем” (химические анализы почвы; характеристика микробной биомассы и базального дыхания), а также при поддержке Российского научного фонда: проект № 21-76-10025 (выделение тотальной почвенной ДНК; оценка содержания рибосомальных генов микроорганизмов).

УДК 631.46

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОКАРИОТНОГО КОМПЛЕКСА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ РАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

Овчинникова Е.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, liza.ovchinnikoff@gmail.com

В настоящее время нефть остается одним из основных загрязнителей окружающей среды. Нефтезагрязнение почвы ведет к изменению структуры прокариотного комплекса. С одной стороны, происходит интенсивное развитие утилизирующих нефть микроорганизмов, с другой стороны, численность чувствительных к нефтезагрязнению микробов значительно сокращается. Использование аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов является одним из наиболее эффективных способов очистки почв от нефтезагрязнения. Однако большинство исследований микробной деструкции углеводородов проводятся при усредненных значениях влажности почвы, что не учитывает ее постоянной динамики. Целью данной работы являлась оценка метаболически активного прокариотного комплекса нефтезагрязненных почв в условиях разного давления почвенной влаги.

Объектами исследования являлись образцы гумусовых горизонтов серой лесной почвы, чернозема и каштановой почвы.

В работе были использованы метод центрифугирования, люминесцентно-микроскопический метод (окраска акридиновым оранжевым), метод флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH), метод газовой хроматографии, секвенирование 16S рРНК.

Для каждой из почв методом центрифугирования была определена основная гидрофизическая характеристика (ОГХ). Согласно полученным ОГХ все почвенные образцы были увлажнены водой до следующих значений давления почвенной влаги: $P = 0$ кПа (полная влагоемкость), $P = -300$ кПа (средняя влажность) и $P = -800$ кПа (влажность завядания растений). Опытными вариантами являлись образцы с внесением нефти в количестве 10% от массы почвы. В контрольные варианты нефть не добавлялась. Снятие всех показателей было проведено на 30-е сутки сукцессии.

Показано, что в образцах с нефтью суммарная биомасса и численность прокариот были значимо ниже по сравнению с контрольными почвами. При нефтезагрязнении аналогично снижению общей численности прокариот также происходило снижение альфа-разнообразия. Методом FISH установлено, что максимальная численность метаболически активных клеток бактерий в серой лесной почве была при $P = 0$ кПа, в черноземе и каштановой почве – при $P = -300$ кПа. Результаты газовой хроматографии показали, что наименьшее остаточное

содержание алканов нефти на 30-е сутки эксперимента было характерно для почвенных образцов с максимальным развитием метаболически активной бактериальной компоненты. По результатам секвенирования 16S рРНК установлено, что при $P = -800$ кПа во всех почвах доминировал филум *Actinomycetota*, доля которого возрастала при внесении нефти. С увеличением содержания влаги во всех почвах актинобактерии начинали занимать минорные позиции, и доминантами становились протеобактерии. При $P = -800$ кПа в нефтезагрязненных образцах серой лесной и каштановой почв было выявлено преобладание рода *Streptomyces*, в образцах чернозема – *Gaiella*. При $P = 0$ кПа в серой лесной почве доминирующим в нефтезагрязненном и отсутствующим в контрольном вариантах родом стал *Massilia*, в черноземе – *Sandaracinus* и *Variovorax*, в каштановой – *Phenyllobacterium* и *Variovorax*.

Полученные данные позволяют подобрать значения влажности почвы, являющиеся оптимальными для деятельности гидrolитического прокариотного комплекса, что может быть использовано в целях повышения эффективности биоремедиации нефтезагрязненных почв.

УДК 631.42

ПАЗИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ И КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА

Пинской В.Н.¹, Смекалова Т.Н.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, pinskoy@inbox.ru;

²Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, tnsmek@mail.ru

На сегодняшний день известен широкий спектр методов почвоведения и смежных наук, которые находят свое применение при изучении почв древних поселений. В данной работе представлены результаты палеогельминтного анализа и биологической активности почв культурных слоев археологических памятников эпохи поздней бронзы Западного Крыма. Палеогельминтный анализ выполняли в совокупности с следующими микробиологическими методами: определение численности сапротрофных и термофильных микроорганизмов, численности кератинолитических грибов, целлюлозоразлагающих бактерий, а также с активностью фермента уреазы.

Объекты исследования расположены на территории Западного Крыма и относятся к позднебронзовому веку (XII-X вв. до н.э.), на это указывают находки в виде керамики поздней сабатинской – ранней белозерской культур. На исследуемой территории были выбраны 3 ключевых участка: Тюмень-3, Тюмень-7 и Багай-1. По предварительным данным объект Тюмень-7 интерпретирован как место содержания скота, на это указывает развал конструкции, очертания которой похожи на загоны. Объект Тюмень-3 был интерпретирован как жилище. На ключевом участке Багай-1 отбор почвенных образцов осуществлялся на 3 объектах: внутри загона и жилища, и за пределами загона. В качестве фона использовали почвы, расположенные за пределами памятников.

На перечисленных объектах было выявлено 2 основных рода гельминтов: *Dicrocoelium sp.* и *Trichuris sp.* Жизненный цикл *Dicrocoelium sp.* (ланцетовидная двуустка) характеризуется сменой 3 хозяев, конечным, как правило, считается крупный рогатый и мелкий рогатый скот, а также лошади. В отличие от *Dicrocoelium sp.*, *Trichuris sp.* (власоглав) не нуждается в промежуточных хозяевах, для достижения инвазионного состояния яйцам необходимо около месяца созревания в почве во влажном и теплом состоянии, поэтому им могут заразиться травоядные, плотоядные, в том числе и человек.

На территории памятников Крымского полуострова общая встречаемость яиц геогельминтов составила 17 штук. Из них 13 яиц интерпретированы как *Dicrocoelium sp.*, 4 яйца как *Trichuris sp.* Для анализа использовались целые яйца и с отпавшей оперкулой,

деформированные яйца не учитывали. Размеры яиц без крышечки определялись так, как если бы она присутствовала, для этого использовался поправочный коэффициент 1,1. Средняя длина яиц *Dicrocoelium sp.* составляет 30 μm , а ширина 19 μm , средняя длина яиц *Trichuris sp.* составила 50 μm , а ширина 30 μm .

Для выявления корреляционных связей встречаемости яиц геогельминтов с микробиологическими показателями мы использовали средние значения второго показателя. Для корректной связи с активностью фермента уреазы использовали нормирование значений по культурным слоям, залегающих на разной глубине, где максимальное значение было принято за 100%.

По полученным данным была построена векторная диаграмма и диаграмма рассеивания по максимальной дисперсии микробиологических свойств и встречаемости яиц паразитов. Из рисунка 1 следует, что на векторной диаграмме в правой полуоси имеет место тесная корреляция между активностью фермента уреазы, термофильными микроорганизмами и встречаемостью яиц *Trichuris sp.* Из диаграммы рассеивания следует (рис. 1), что на объекте Тюмень 7 шурф 2 (загон) отмечена высокая встречаемость яиц *Trichuris sp.*, а также высокая активность фермента уреазы и численности КОЕ термофильных бактерий. Следует также отметить, что в других объектах кроме фона яиц этого гельминта обнаружено не было.

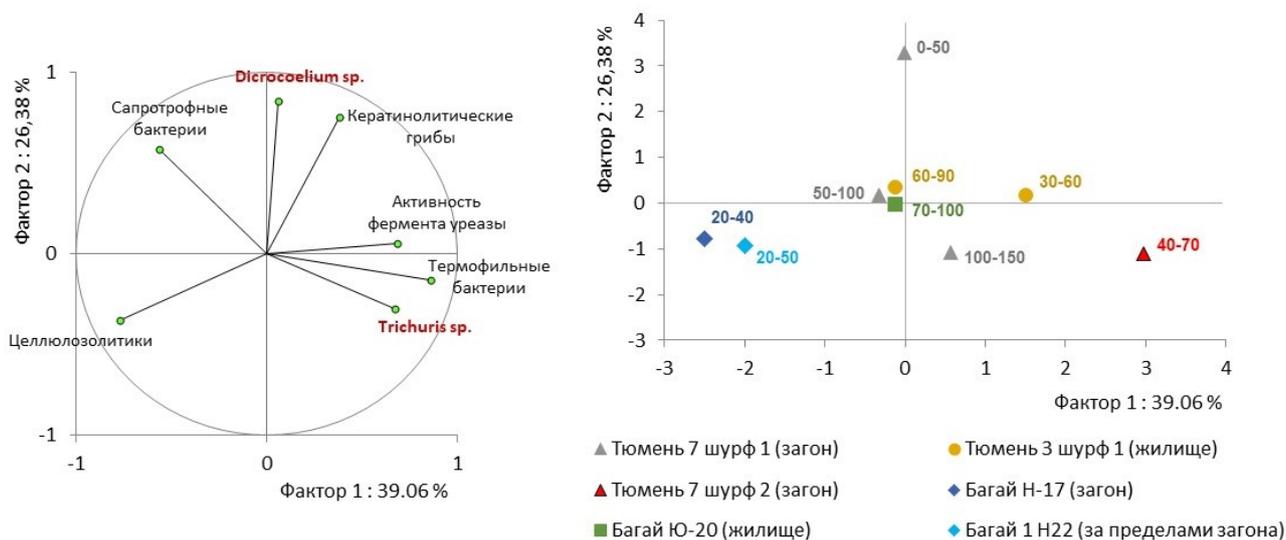


Рис.1. Диаграмма рассеивания микробиологических показателей и встречаемости яиц паразитов в культурных памятниках эпохи поздней бронзы. Цифры внутри диаграммы рассеивания соответствуют глубине культурного слоя от поверхности.

Интересная закономерность была выявлена относительно встречаемости яиц *Dicrocoelium sp.* и численности КОЕ сапротрофных бактерий и кератинолитических грибов. Максимальные значения перечисленных показателей были отмечены в первых 50 см объекта Тюмень 7 шурф 1 (загон).

Отрицательная корреляция встречаемости яиц геогельминтов была обнаружена с целлюлозолитиками, которые напрямую связаны с состоянием различного рода растительных остатков в почве.

Также стоит отметить, что яйца *Dicrocoelium sp.* не были обнаружены в культурных слоях объектов Тюмень-7 шурф 2 40-70 (дом), Багай-1 Н-17 20-40 (загон) и Багай-1 Н22 20-50 (за пределами загона). Совокупная встречаемость опознанных яиц *Dicrocoelium sp.* в предположительных местах содержания скота и в жилищах практически не различалась, вероятно, это связано с переносом этих яиц на обуви в жилую постройку.

В отличие от объектов исследования, представленных на рисунке 1, в фоновой почве были обнаружены оба перечисленных рода гельминтов, а их количество превышало количество

яиц, обнаруженных в культурном слое. Вероятно, это обусловлено отбором почвенных проб с поверхности профиля.

В результате микробиологического и геогельминтного анализов почв культурных памятников эпохи поздней бронзы на территории Западного Крыма была выявлена тесная корреляция встречаемости яиц рода *Trichuris sp.* с активностью фермента уреазы и термофильными бактериями, что указывает на значительное содержание навоза относительно других объектов. Встречаемость яиц *Dicrocoelium sp.* тесно коррелировала с высокой численностью КОЕ сапротрофных бактерий и кератинолитических грибов, этот род гельминта в равных количествах был обнаружен как в загонах для скота, так и в жилищах, на что указывает возможный перенос на обуви яиц данного паразита.

Установлено, что такие факторы как время и высокая степень выветривания в регионе исследования обусловили плохую сохранность яиц геогельминтов, это хорошо заметно по частой встречаемости яиц паразитов в первых 10 см профиля фоновой почвы, расположенной за пределами памятников. Незначительное количество обнаруженных яиц паразитов в культурных слоях памятников, вероятно, связано с погребением их на некоторую глубину, что повлияло на частичную сохранность обнаруженных яиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 22-68-00010

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ФУНГИЦИДОВ НА ГРИБНЫЕ СООБЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО.

Пинчук И.П.¹, Никитин Д.А.¹, Томашевич Н.С.², Гырнец Е.Ю.², Тхакахова А.К.¹, Ксенофонтова Н.А.¹, Зверев А.О.^{1,3}, Семенов М.В.¹

¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Лаборатория почвенного углерода и микробной экологии, Москва, email: irun12@list.ru

²Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар

³Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Пушкин

Фитопатогены вызывают целый спектр различных заболеваний культурных растений, что приводит к ухудшению качества продукции, потерям урожая до 40% и, в конечном счете, создает угрозу экономическому развитию и продовольственной безопасности стран. Классическим методом борьбы с фитопатогенными грибами является применение химических фунгицидов, которые хотя и эффективны в подавлении грибов, но при этом могут негативно сказываться как на здоровье человека, так и на численности и разнообразии почвенных грибов. Кроме того, штаммы патогенов могут приобретать резистентность к химическим пестицидам, что ведет к необходимости применения все более высоких доз и последующему подавлению полезных для растений грибов.

Биологические препараты, созданные на основе микроорганизмов с доказанной фунгицидной эффективностью, могут служить альтернативным способом борьбы с фитопатогенными грибами. Они избирательны по отношению к широкому спектру фитопатогенов, не формируют резистентность, не требуют применения в определенные фенологические циклы растений. Использование биологических средств защиты дает возможность сократить применение химических пестицидов. Например, препараты на основе *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma* и др. могут значительно снижать численность фитопатогенов в почве, стимулируют рост и развитие растений и при этом не оказывают негативного воздействия на полезную почвенную микробиоту.

Целью исследования было изучение влияния биопрепаратов на основе штаммов бактерий *Bacillus* на сообщества грибов чернозема выщелоченного в ризосфере яблони по сравнению с химическими средствами защиты растений. В задачи исследования входило: 1) оценить влияние биопрепаратов на численность и разнообразие культивируемых почвенных грибов;

- 2) определить численность копий генов бактерий и грибов с помощью количественной ПЦР;
- 3) определить таксономический состав и разнообразие грибных сообществ ризосферной почвы с помощью высокопроизводительного секвенирования.

Эксперимент был организован в яблоневом саду КФХ «Щербаков», Краснодарский край, Россия. Сорт яблок – «Женева Эрли», год посадки – 2013. Обработка листьев фунгицидами проводилась в 2021 и 2022 годах в весенне-летний период. Почва под деревьями – чернозем выщелоченный сверхмощный с содержанием гумуса 3.8 %; pH = 6.7. Были рассмотрены следующие системы защиты растений: Веленсис, Ж (*Bacillus velezensis* штамм 336g, 1 млрд КОЕ/мл), норма применения 3.0, 4.0 и 5.0 л/га; Фитоспорин-М, Ж (*Bacillus subtilis* штамм 26Д, 1 млрд КОЕ/мл), норма применения 2.0 л/га; последовательное применение химических фунгицидов (Химэталон): Зато, ВДГ (трифлуксистробин 500г/кг); Скор, КЭ (дифеноконазол 250 г/л). Контрольные деревья были обработаны водой. Образцы ризосферной почвы были отобраны в 2022 году, на второй год обработки. Для выявления культивируемых форм фитопатогенных грибов, а также грибов со свойствами биологических агентов проводили микробиологический посев на питательные среды с последующим микроскопированием с использованием материально-технической базы Уникальной научной установки (УНУ) «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/671367/>). Численность копий генов архей, бактерий, грибов, а также грибов-фитопатогенов *Verticillium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium sp.* и оомицета *Pythium ultimum* определяли методом количественной ПЦР. Таксономический состав и разнообразие сообществ грибов определяли с помощью ДНК-метабаркодинга участка ITS2.

С питательных сред были выделены колонии следующих родов: *Fusarium spp.*, *Verticillium spp.*, *Cephalosporium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Rhizopus spp.*, *Alternaria spp.*, *Trichoderma spp.*, *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Mucor spp.*, *Trichothecium spp.* Наибольшее количество колоний *Fusarium sp.* наблюдалось в образцах ризосферной почвы под контролем и под химической системой защиты растений. Обработка яблонь средствами химической защиты растений приводила к росту численности *Verticillium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum* и *Fusarium spp.* в 2 раза по сравнению с контролем. Результаты метабаркодинга соответствуют результатам, полученным другими методами. Во всех образцах преобладал *Fusarium* (до 40% в варианте с химическими фунгицидами), также было отмечено наличие фитопатогенов *Gibellulopsis*, *Plectosphaerella*, *Rhizoctonia* и др. *Venturia* присутствовал в количестве до 0.5% от общего сообщества грибов. Среди биологических агентов были обнаружены *Trichoderma*, *Chaetomium*, *Coprinellus*, а также было выявлено высокое обилие копий генов *Clonostachys* (до 14% в варианте с химическими фунгицидами). Обработка химическими фунгицидами приводила к снижению индекса Шеннона для сообщества грибов ризосферы яблони по сравнению с контролем и образцами почвы под деревьями, обработанными препаратами Веленсис, Ж и Фитоспорин, Ж.

Таким образом, обработка листьев яблонь химическими фунгицидами приводит к резкому снижению разнообразия грибов в прикорневой почве и одновременному повышению численности широкого спектра почвенных грибов-фитопатогенов, прежде всего *Fusarium*, *Rhizoctonia* и *Verticillium*. Поскольку общая численность грибов не снижалась, можно сделать вывод, что развитие фитопатогенов было вызвано освобождением тех экологических ниш, которые ранее были заняты грибами-сапротрофами и симбионтами растений. В результате длительное применение химических фунгицидов на яблоне может в дальнейшем привести к развитию корневых гнилей и других болезней растений, вызываемых почвенными фитопатогенами. В то же время применение биологических препаратов снижало заболеваемость растений, но при этом не сказывалось на разнообразии сообществ почвенных грибов. Следовательно, средства биологической защиты растений могут быть использованы в качестве альтернативы химическим фунгицидам, обеспечивая снижение пестицидной нагрузки на почвы агроэкосистем.

Работа по изучению почвенного микробиома молекулярно-генетическими методами выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022-0018).

Изучение микроорганизмов культуральными методами выполнено согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0005.

УДК 579.266.2

ВЛИЯНИЕ ПОЛИЦИКЛИНИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА АКТИВНОСТЬ НИТРИФИКАЦИИ НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ

Пуликова Е.П. ЮФУ, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону, email: epulikova@sfedu.ru

Нитрификация является одним из важнейших этапов превращения неорганических форм азота, который заключается в окислении аммония в нитрит и нитрат. Считается, что загрязнение почв ПАУ и тяжелыми металлами особенно негативно влияет на этот процесс. Его ингибирование приведет к нарушению всего биогеохимического цикла азота. Поскольку почвы углеотвалов характеризуются повышенным содержанием ПАУ, цель нашего исследования состояла в изучении влияния ПАУ на активность нитрификации накопительной культуры нитрифицирующих бактерий, полученных из почв горнодобывающих территорий Восточного Донбасса.

Для накопления нитрифицирующих бактерий была выбрана почва с наибольшей активностью нитрификации и высокой численностью нитрификаторов. Суммарное содержание ПАУ в данном почвенном образце превышает 5 мкг/г. Свежая почва вносилась в колбу со средой Виноградского в соотношении 1:10. Накопительную культуру нитрификаторов раз в 3 недели в течение 4 месяцев переносили в стерильную среду Виноградского в соотношении 1:10. Для увеличения биомассы автотрофных нитрификаторов, накопительную культуру раз в неделю центрифугировали при 8000 об/мин в течение 5 минут, промывали физраствором, встряхивали с использованием Вортекса Sky Line V-3 (ELMI) и снова центрифугировали (операция производилась не менее 7 раз для полного удаления образовавшегося нитрита и нитрата), после чего осадок накопительной культуры вносился в свежую среду Виноградского.

Активность нитрификации определялась в соответствии с методикой *Sauve et al.*, 1999.

Содержание нитрита определяли при добавлении реактива Грисса и колориметрировали при $\lambda = 540$ нм. Для тестирования устойчивости накопительной культуры нитрификаторов к поллютантам была определена активность нитрификации в условиях загрязнения ПАУ. В конические колбы вносили растворы аммония и хлората, после чего отдельно вносили нафталин, бифенил, фенантрен, флуорен, пирен, растворенные в ДМСО, с конечной концентрацией 0,1, 1, 10, 100 и 1000 мкг/мл.

В процессе накопления нитрификаторов в среде Виноградского обнаружено увеличение активности нитрификации в 1,6–3 раз относительно первоначальной активности. Активность нитрификации накопительной культуры росла с каждым следующим пересевом на свежую среду (Рисунок 1).

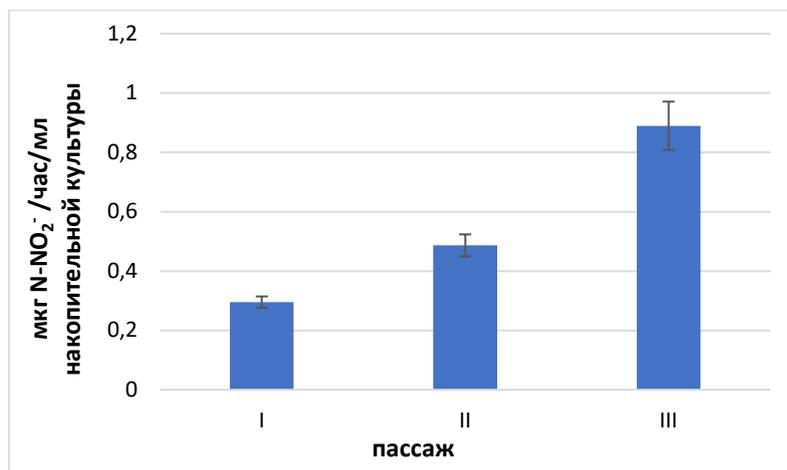


Рисунок 1. Активность нитрификации накопительной культуры нитрификаторов

Наиболее токсичными ПАУ оказались нафталин, бифенил и флуорен. Внесение 10 мкг/мл данных ПАУ снижают активность нитрификации на 30-60%. Пирен негативно повлиял на активность нитрификации только при внесении более высоких концентраций – 100 и 1000 мкг/мл (на 37-39%) в связи с низкой биодоступностью пирена.

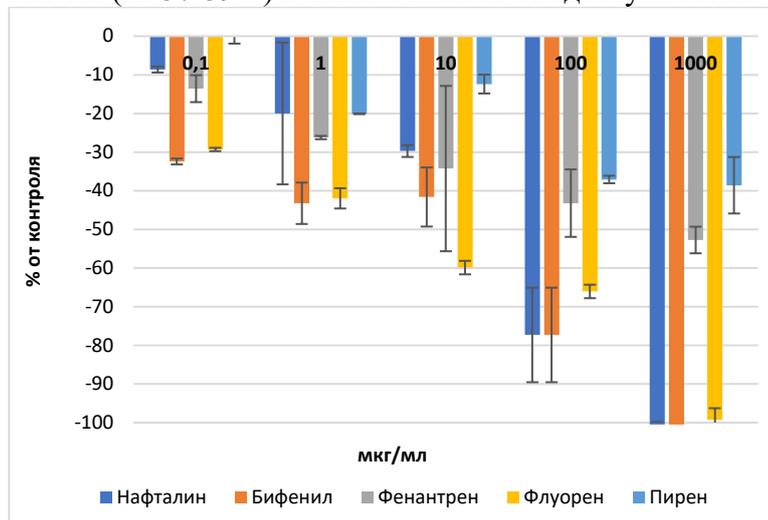


Рисунок 2. Влияние ПАУ на активность нитрификации накопительной культуры

Активность нитрификации составляла 0,9 мкг N-NO₂⁻/мл накопительной культуры и демонстрирует значительную устойчивость к ингибирующему действию фенантрена и пирена. Таким образом, полученная накопительная нитрифицирующая культура бактерий в дальнейшем может быть использована совместно с ПАУ-деградирующими бактериями для ремедиации почв, загрязненных ПАУ, поскольку первые могут инициировать начальные этапы окисления, снижая гидрофобность ПАУ, а вторые реализовывать дальнейшую деградацию ПАУ, удаляя из среды токсичные для нитрификаторов продукты окисления углеводородов.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2023-587, и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

УДК 631.468

СТРУКТУРА ФАУНЫ КРУПНЫХ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ И ИСКУССТВЕННЫХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Пятина Е.В.

ЦМП им. В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, kat1977kat@gmail.com

Создание Государственной защитной лесополосы «Пенза-Каменск», состоящей из трех лент шириной 60 м, расположенных друг от друга на расстоянии 350 м способствовало защите полей от суховея, регулированию и улучшению гидрологического режима и послужило основой устойчивого землепользования. Современное состояние 70-летних лесонасаждений вызывает беспокойство возможностью выполнения ими их экологических функций. Надежными индикаторами состояния экосистем являются почвенные беспозвоночные животные. Цель исследования - характеристика макрофауны почв трех-полосой полезащитной лесополосы и прилегающих к ней пашен (Волгоградская область, с. Белые пруды). Почва под лесонасаждениями - постагрогенный чернозем, под пашнями - агрочернозем южный. Почвенно-зоологические исследования проведены на площадках, сопряженных с почвенными разрезами, по общепринятой методике ручной разборки проб. Размер пробы 25 см x 25 см, по 12 проб на площадку.

Наибольшее видовое разнообразие и средняя плотность макропедофауны отмечена в полезащитных лесополосах, где к доминантному классу относятся малощетинковые черви, доля которых в среднем составила 35%. Наибольшая плотность геобионтов отмечена в восточной лесополосе - 100 экз./м². Наименьшая – в центральной лесополосе (31,8 экз./м²). В почве лесополос отмечено обитание четырех видов дождевых червей из разных морфо-экологических групп.

Средняя плотность населения макропедофауны пашен не высокая – 18,5 экз./м². Основу населения составляют насекомые. Отмечено обитание одного вида дождевых червей.

Трофическая структура макропедофауны полезащитных лесополос отличается от пашен меньшей долей участия в почвенном населении фитофагов и большей – зоофагов. Только в восточной лесополосе доля сапрофагов составляет 2/3 всего почвенного населения крупных беспозвоночных. На пашнях основу почвенного населения составляют фитофаги.

Таким образом, средняя плотность макрофауны почв полезащитных лесополос выше в 3 раза по сравнению с пашнями, а видовое разнообразие в 2 раза. Более высокое разнообразие фауны дождевых червей в лесополосах и в целом всего комплекса геобионтов является показателем формирования в них благоприятного гидротермического режима, что способствует увеличению биоразнообразия агроландшафтов.

Исследования проведены в рамках проекта №22-16-20056 «Вклад линейных защитных лесных насаждений в депонирование органического углерода в почвах Волгоградской области» при финансовой поддержке Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области.

УДК 574.2

МАКРО- И МЕЗОФАУНА В ПОЧВАХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ МОСКВЫ, РАЗНЫХ ПО ПЛОЩАДИ И РЕЖИМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Рахлеева А.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: a.rakhleeva@gmail.com

В настоящее время рекреационные территории, к которым относятся лесопарки, скверы, территории ботанических садов, занимают практически половину площади Москвы. Как и в большинстве мегаполисов, природно-территориальные комплексы Москвы претерпевают значительные изменения в процессе урбанизации. Благодаря мозаичности распределения рекреационных территорий, уровню и характеру их подверженности антропогенной нагрузке, в зонах рекреации в течение процессов урбанизации формируются особые типы почв, микроклимат, растительность. Изучение влияния антропогенных воздействий на

подобные территории необходимо. Во-первых, рекреационные территории занимают некоторое промежуточное положение между естественными условиями и типично городскими селитебными и промышленными зонами, что делает их интересными объектами изучения. Во-вторых, зоны рекреации являются источником городского биоразнообразия, обеспечивают стабильность городских систем и служат индикатором состояния окружающей среды.

Исследования антропогенного влияния на рекреационных территориях ведутся длительное время. Больше внимание уделяется показателям, связанным с абиотической составляющей исследуемых территорий. Вместе с этим соответствие данных показателей принятым нормам далеко не всегда означает благоприятные условия для функционирования живых организмов на данной территории. Исходя из этого, в настоящий момент все чаще применяются методы биоиндикации.

Почвенные животные, в частности представители макро- и мезофауны (используется международная размерная классификация) являются хорошими индикаторами состояния почв, однако для Москвы количество работ, посвященных изучению беспозвоночных, крайне мало, что подчеркивает актуальность проведенных исследований.

Почвенно-зоологические работы проводились на трех различных по площади и режиму использования рекреационных территориях: в саду музея-усадьбы Л.Н. Толстого в Хамовниках (Центральный административный округ), в природном заказнике «Воробьевы Горы» и в Ботаническом Саду МГУ им. М.В. Ломоносова (Западный административный округ).

Макрофауну учитывали в пятикратной повторности на пробный участок, методом ручной разборки по Гилярову. Получали данные по составу, численности и биомассе макрофауны. Для изучения состава и плотности населения комплексов микроартропод (представителей мезофауны почв) использовался метод эклекторной выгонки Берлезе-Тульгрена, при десятикратной повторности отбора проб на одном участке. Все результаты пересчитывали на квадратный метр.

На трёх изученных территориях была обнаружена 21 таксономическая группа представителей макрофауны. Наиболее массовыми были следующие группы: дождевые черви (семейство Lumbricidae); многоножки (Myriapoda) классов Diplopoda и Chilopoda (семейство Geophyllidae, в меньшей степени - семейство Lithobiidae); мокрицы Oniscoidea; паукообразные (Arachnida): отряд Aranea (пауки), в меньшей степени - отряд Opiliones (сенокосцы); насекомые (Insecta) – отряд Coleoptera (жесткокрылые) - семейства Carabidae (жужелицы), Cantharidae (мягкотелки), Elateridae (проволочники), Staphylinidae (коротконадкрылые хищные жуки стафилины), отряд Diptera (двукрылые), отряд Hemiptera (полужесткокрылые клопы). Все обнаруженные группы являются характерными для зоны смешанных лесов, и их присутствие зарегистрировано, за редкими исключениями, на всех исследованных территориях. Отмечены различия в доминантных комплексах, численности, биомассе и трофической структуре макрофауны. На всех участках в составе доминантного комплекса присутствуют дождевые черви. Режим ухода за поверхностью почвы с удалением опада, стрижкой газона, частой подсыпкой органо-минеральных смесей (территория Хамовники) оказывает неблагоприятное влияние на количественные показатели комплексов макрофауны. Снижаются численность, биомасса и разнообразие, как на таксономическом, так и на видовом уровне (на примере дождевых червей). На охраняемых рекреационных территориях, где соблюдается естественный режим функционирования древесной растительности и почвенный покров длительное время не нарушается (территории Воробьевы Горы и Ботсад МГУ), макрофауна может демонстрировать высокие значения численности и биомассы, существенно превышающие значения для типичных городских условий, а также для естественных природных почв Подмосковья. В пределах природного заказника Воробьевы Горы были выявлены участки с контрастными для развития комплексов почвенной макрофауны условиями: с одной стороны участки, где почвенная

среда благоприятна для развития комплекса сапрофагов (прежде всего дождевых червей и энхитреид), с другой стороны участка, где почвенная среда благоприятна для развития комплекса герпетобионтов - зоофагов (паукообразных, жесткокрылых, многоножек, улиток). Преобладающими группами микроартропод на всех изученных участках являются коллемболы (*Collembola*) и клещи (*Acari*). Среди прочих групп обнаружены мелкие многоножки диплоподы и геофилиды, личинки двукрылых и жесткокрылых, мокрицы и пауки. Изученные территории отличаются по плотности населения, ее динамике, а также составу доминантных комплексов. Плотность населения микроартропод на изученных участках значительно варьирует. Наибольшее влияние на этот показатель у микроартропод оказывают хозяйственный режим поддержания территории, уплотнение гумусового горизонта и мощность подстилки. Максимальное значение плотности отмечено в заказнике «Воробьевы Горы» (118 тыс. экз./м²), минимальное (18 тыс. экз./м²) – в саду музея-усадьбы Л.Н. Толстого в Хамовниках. Динамика плотности населения микроартропод наиболее приближена к естественной в почвах ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова и заказника «Воробьевы Горы». Отличие по этому показателю музея-усадьбы Л.Н. Толстого в Хамовниках, очевидно, связано с регулярными работами по уходу за поверхностью почв сада, что создает неблагоприятную обстановку для существования изученной группы животных.

УДК 631.46

СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА МИКРОАРТРОПОД С МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ И СВОЙСТВАМИ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОН

Рубец М.К.¹, Тхакахова А.К.², Семенов М.В.², Цуриков С.М.³, Леонов В.Д.³

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, sibery.liltile@yandex.ru;

²ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, tkhakakhova_ak@esoil.ru, mikhail.v.semenov@gmail.com;

³Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова, Москва, smtsurikov@rambler.ru, v.d.leonov@gmail.com

Микроартроподы — многочисленная и разнообразная в видовом отношении группа почвенных животных. Из литературы известно много примеров, свидетельствующих о их значимости в функционировании почвенного яруса экосистем. Поскольку значительная доля микроартропод является сапрофагами, они вовлечены в многоступенчатые процессы трансформации вещества и энергии в почвах, в силу чего, отводимая им роль не может быть рассмотрена в отрыве от микробного сообщества почв. Различные показатели микробиологического статуса почв могут помочь лучше понять таксономический состав и численность микроартропод в почвах.

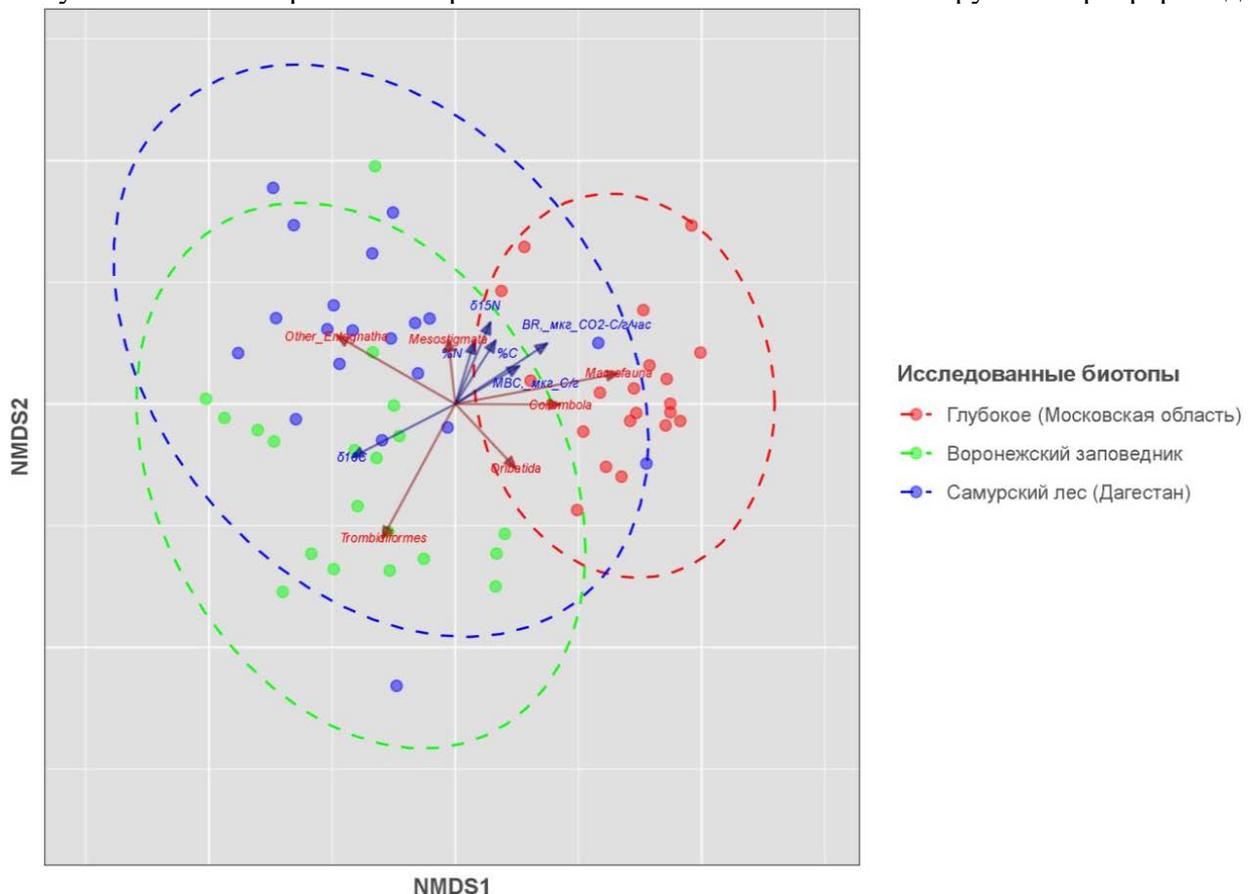
Цель исследования — анализ зависимости численности основных групп почвообитающих микроартропод от почвенных свойств на широтной трансекте Московская область — Воронежская область — Республика Дагестан. Мы выделили следующие задачи: 1. установить численность основных групп микроартропод в отобранных образцах почв, представленных подстилочным и гумусовым горизонтом; 2. установить основные индексы функционирования микробиологического сообщества почв: базальное дыхание почвенных микроорганизмов, углерод микробной биомассы, эффективность потребления углерода; 3. определить зольность подстилочного материала, содержание углерода и азота, а также оценить фракционирование стабильных изотопов в почвах; 4. оценить влияние выбранных почвенных свойств на численность отдельных групп микроартропод.

Первой точкой отбора образцов являлся ельник с примесью широколиственных пород на территории Биостанции «Глубокое озеро» в Московской области. Далее исследован Воронежский государственный природный биосферный заповедник, где место отбора проб

располагалось в сосняке зеленомошном. Последняя точка находилась в Республике Дагестан, в восточной части Самурского умеренно-субтропического лианового леса. В каждой из трёх точек по регулярной сетке отобраны 20 образцов. В каждом из них установлена численность основных таксономических групп почвенных микроартропод: орибатид (Oribatida), мезостигматических (Mesostigmata) и тромбидиформных клещей (Trombidiformes), коллембол (Collembola), а также представителей макрофауны и других беспозвоночных, относящиеся к классу скрыточелюстные (Entognatha). Данные о численности основных групп микроартропод обработаны с помощью многомерного шкалирования с применением множественной регрессии к координатам точек и численности микроартропод, индексам функционирования микробиома, а также химическим показателям почв.

Обнаружено, что показатели функционального состояния почвенного микробиома имеют положительную корреляцию с содержанием углерода в почве (Рисунок 1). Нами установлена связь численности коллембол с углеродом микробной биомассы, а также значением базального дыхания почв. Численность клещей орибатид, как и представителей макрофауны, имела позитивную корреляцию с базальным дыханием почв и углеродом микробной биомассы, эти показатели достигали максимума в Московской области. Численность мезостигматических клещей имела позитивную корреляцию с количеством азота в почвах, данные показатели достигали максимума на территории Республики Дагестан.

Рисунок 1. Многомерное шкалирование на основании численности групп микроартропод



На данный момент мы можем сделать следующие выводы: 1. численность отдельных таксономических групп животных имела корреляцию с индексами функционирования почвенных микроорганизмов; 2. функциональная активность почвенного микробиома имела позитивную корреляцию с содержанием углерода в почве; 3. установлена связь между численностью коллембол и орибатид и индексами функционирования почвенного микробиома, но мы полагаем, что она связана с разницей между сообществами на широтном градиенте, обусловленной сильными отличиями в гидротермическом режиме между ними, в

то время как тонкое влияние эдафических факторов на сообщество почвенных животных в каждом биотопе было скрыто этим воздействием.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, № 22-74-00101 “Роль факторов среды в формировании сообществ почвенных орибатид (Acari: Oribatida) Европы”,

<https://rscf.ru/project/22-74-00101/>

УДК: 631.46.

ВЛИЯНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МИКРОФЛОРУ БОГАРНЫХ СЕРОЗЕМОВ
(На примере почв Южных отрогов Гиссарского хребта)

Г. С.Садикова, Т.Ш.Шамсиддинов

Ташкентский Государственный аграрный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация

Эрозионные процессы играют важную роль в формировании структуры и состава почвы, в конечном итоге влияя на микробные сообщества внутри экосистем. В статье исследовано влияние эрозионных процессов на микрофлору богарных сероземов - распространенного в некоторых регионах типа почв. Посредством обзора соответствующей литературы в этом исследовании изучаются механизмы, с помощью которых эрозия влияет на микробные популяции и их функции в почвенных экосистемах. Понимание этой динамики имеет важное значение для эффективного управления почвенными ресурсами и стратегий их сохранения перед лицом экологических проблем. Полученные данные свидетельствуют о том, что процессы эрозии существенно изменяют микробное разнообразие и функциональность богарных сероземов, подчеркивая необходимость внедрения устойчивых методов управления земельными ресурсами для смягчения неблагоприятных воздействий.

Ключевые слова: эрозионные процессы, микрофлора, богарные сероземы, почвоустройство, микробное разнообразие.

Abstract:

Erosion processes play a significant role in shaping soil structure and composition, ultimately impacting the microbial communities within ecosystems. This paper investigates the influence of erosion processes on the microflora of bogarny serozems, a soil type prevalent in certain regions. Through a review of relevant literature, this study examines the mechanisms by which erosion affects microbial populations and their functions in soil ecosystems. Understanding these dynamics is essential for effective soil management and conservation strategies in the face of environmental challenges. The findings suggest that erosion processes significantly alter the microbial diversity and functionality of bogarny serozems, emphasizing the need for sustainable land management practices to mitigate adverse impacts.

Keywords: erosion processes, microflora, rainfed serozems, soil management, microbial diversity.

Введение.

Богарные сероземы — тип почв, характеризующийся своими уникальными свойствами и распространением в конкретных географических регионах. Эти почвы играют решающую роль в поддержке разнообразных экосистем и продуктивности сельского хозяйства. Однако они подвержены процессам эрозии, которые могут нарушить их стабильность и экологические функции. Понимание влияния эрозии на микрофлору богарных сероземов имеет важное значение для сохранения плодородия почв и устойчивости экосистем. Целью данной статьи является обзор современной литературы по этой теме и анализ ее последствий для практики управления почвенными ресурсами.

Эрозионные процессы и почвенная микрофлора. Эрозионные процессы, в том числе водная, ветровая и пахотная эрозия, могут нарушить структуру почвы и привести к потере органического вещества и питательных веществ. Эти нарушения непосредственно влияют на микробные сообщества, обитающие в почве, приводя к изменению состава, разнообразия и активности. Например, водная эрозия может переносить частицы почвы и органические

вещества, перераспределяя микробные популяции по ландшафтам. Аналогичным образом, ветровая эрозия может смещать частицы почвы и изменять микроклиматические условия, влияя на среду обитания микробов и процессы круговорота питательных веществ. Эрозия обработки почвы, широко практикуемая в сельском хозяйстве, может ускорить деградацию почвы и снизить микробную биомассу и активность.

Влияние эрозии на микробное разнообразие. Исследования показали, что эрозионные процессы могут существенно влиять на разнообразие микрофлоры богарных сероземов. Эрозия высокой интенсивности часто приводит к потере микробного разнообразия, поскольку чувствительные таксоны вытесняются или уничтожаются из почвы. И наоборот, определенные группы микробов могут размножаться в нарушенной окружающей среде, что приводит к изменениям в составе и функциях сообщества. Эти изменения могут иметь каскадное воздействие на экосистемные процессы, такие как круговорот питательных веществ, разложение и взаимодействие растений и микробов.

Функциональные ответы микрофлоры на эрозию. Помимо изменения разнообразия, эрозионные процессы могут изменять функциональные признаки микробных сообществ богарных сероземов. Например, нарушения, вызванные эрозией, могут отбирать микробные таксоны, способные к быстрой колонизации и усвоению питательных веществ, отдавая предпочтение универсальным видам перед специалистами. Это может повлиять на эффективность круговорота питательных веществ и устойчивость почвенных экосистем к стрессовым факторам окружающей среды. Кроме того, эрозия может нарушить симбиотические отношения микробов с растениями, влияя на плодородие почвы и стабильность экосистемы.

Влияние эрозионных процессов на микрофлору почв, особенно в богарных сероземах, в последние годы привлекает все большее внимание в связи с их влиянием на здоровье почв, функционирование экосистем и продуктивность сельского хозяйства. Богарные сероземы, отличающиеся уникальными свойствами и распространением в конкретных географических регионах, подвержены различным эрозионным процессам, в том числе водной, ветровой и пахотной эрозии. Понимание воздействия эрозии на почвенную микрофлору имеет важное значение для разработки эффективных стратегий управления почвенными ресурсами, позволяющих смягчить неблагоприятные последствия и продвигать методы устойчивого землепользования [6,7,8,9].

Эрозионные процессы могут нарушить структуру почвы и привести к потере органического вещества, питательных веществ и среды обитания микробов. Водная эрозия, вызванная осадками и поверхностным стоком, может переносить частицы почвы и органические вещества вниз по склону, перераспределяя микробные популяции по ландшафту. Ветровая эрозия, распространенная в засушливых и полусухих регионах, может смещать частицы почвы и изменять микроклиматические условия, влияя на состав и активность микробных сообществ. Эрозия обработки почвы, широко практикуемая в сельском хозяйстве, включает в себя механическое нарушение почвы, что приводит к ускоренной деградации почвы и снижению микробной биомассы и разнообразия [10,11,12,13].

Исследования показали, что эрозионные процессы могут существенно изменить микробное разнообразие и функциональность богарных сероземов. Эрозия высокой интенсивности часто приводит к потере микробного разнообразия, поскольку чувствительные таксоны вытесняются или уничтожаются из почвы. И наоборот, определенные группы микробов могут размножаться в нарушенной окружающей среде, что приводит к изменениям в составе и функциях сообщества. Эти изменения могут оказать глубокое влияние на экосистемные процессы, такие как круговорот питательных веществ, разложение и взаимодействие растений и микробов [14,15].

Более того, нарушения, вызванные эрозией, могут привести к отбору микробных таксонов, способных к быстрой колонизации и усвоению питательных веществ, отдавая предпочтение универсальным видам перед специалистами. Это может повлиять на эффективность

круговорота питательных веществ и устойчивость почвенных экосистем к стрессовым факторам окружающей среды. Кроме того, эрозия может нарушить симбиотические отношения микробов с растениями, влияя на плодородие почвы и стабильность экосистемы [16,17].

Деятельность микроорганизмов приводит к накоплению перегноя - вещества, обуславливающего ряд благоприятных свойств пахотного слоя и т. д. Работа микроорганизмов способна непрерывно поднимать потенциальное плодородие почвы. Поэтому, за исследованный период мы изучали количество микроорганизмов в ризосфере различных с/х культур и основные физиологические группы микроорганизмов, характеризующие круговорот азота, углерода и фосфора [2,3,4,5].

В середине семидесятых годов С.А.Каплуным, Ш.Гуровичем и Н.Аширматовой (1974,1975) была изучена биологическая активность богарных типичных и темных сероземов предгорий южного Гиссарского хребта. Было установлено, что в богарных сероземах развиваются почти все физиологические группы микроорганизмов, населяющих почву. Однако авторы не затрагивали вопрос влияния эрозии на биологическую активность и состав микроорганизмов. Объектом исследований были выбраны почвы, распространенные в южных отрогах Гиссарского хребта в пределах бассейна р.Шерабад.

Объект и методы исследований. Объектами наших исследований были богарные типичные и темные серозёмы южных отрогов Гиссарского хребта в административных границах Байсунского тумана Сурхандарьинского вилоята, подверженные эрозионным процессам. Почвенные образцы были взяты весной, летом и осенью на глубине 0-30 и 30-50 см. Для сравнительной характеристики почв нами взяты группы микроорганизмов, осваивающие органические и минеральные формы азота, разлагающие растительные остатки и участвующие в синтезе перегнойных веществ.

Результаты и их обсуждение. Почвы относительно низких и переходных предгорий типичные и темные сероземы Байсунского тумана отличаются высоким ростом бактерий. В период исследований нами были изучены количество основных агрономических важных групп почвенных микроорганизмов, участвующих в основных почвенных процессах, протекающих в почве - аммонификаторов, олигонитрофилов, микромицетов и актиномицетов. Из полученных данных по микрофлоре типичных сероземов исследуемого объекта, можно сделать следующие выводы: типичные сероземные почвы богаты микроорганизмами, относящимися различным физиологическим группам; наиболее биогенным является пахотный горизонт почвы (0-30 см), ниже (30-50 см) которого содержание микроорганизмов значительно уменьшается и видовой состав сокращается. Почти во всех вариантах количество микроорганизмов изменяется в корреляционной связи содержанием гумуса. Такая же закономерность прослеживается в темных сероземах. Отмечено, что в исследуемых почвах наиболее обширную группу в микробном населении почв составляют бактерии (аммонификаторы), причем их численность доминирует в верхних слоях почв. В составе бактерий значительное место занимают следующие диминирующие виды: составляют на намытой 520000, а в подпахотном слое 400000 тыс./1 г почвы. *Bac.megaterium*, *Bac. mycoides*, *Azotobacter chroococcum*, *Chromobacterium*, sp. и другие. Наибольшее количество аммонификаторов обнаруживается в верхнем горизонте, где высокое содержание гумуса. Если объяснить по цифрам, то количество аммонификаторов в пахотном слое (0-30 см) под ризосферой пшеницы составляет 40000 тыс./1г почвы, а в подпахотном слое (30-50 см) немного ниже - 15000 тыс./1 г почвы. На темных сероземах в пахотном слое в исследуемых почв после аммонификаторов широко распространены олигонитрофильные микроорганизмы. Способность олигонитрофилов развиваться при очень низком азотном уровне в субстрате обеспечивает возможность их развития в неблагоприятных условиях для других микроорганизмов.

Известно, что в почве помимо азотобактера и клостридиума существуют другие свободноживущие органические микроорганизмы, обладающие способностью фиксировать

азот. Такими организмами являются олигонитрофилы, которые хорошо развиваются на безазотистых средах. Они широко распространены в почвах. Олигонитрофилы определенно фиксируют азот воздуха, но в чистых культурах этот процесс протекает очень слабо. В присутствии некоторых микробов - активаторов или при наличии в среде малых доз веществ азотфиксация достигает значительных размеров.

Количество олигонитрофилов немного больше в пахотном слое почвы во всех вариантах, под пшеницей - 1000 тыс./1г почвы, а в подпахотном горизонте - 550 тыс./г почвы. Из данных видно, что по горизонтам в количестве олигонитрофилов разница небольшая. На богарных темных сероземах содержание микроорганизмов меняется в пределах: на несмытой: 500, слабо смытой 300, на намытой 1150 тыс./1 г почвы.

Почвенные грибы играют значительную роль не только в биологических процессах, происходящих в почве, но и в жизни растений. Значение грибной флоры в природе и хозяйственной деятельности человека огромно.

Количество микромицетов и актиномицетов гораздо меньше. Количество микромицетов по сравнению с другими типами почв невысокое. Так, количество микромицетов мало отличается в пахотном и подпахотном горизонтах. Под пшеницей на типичных сероземах в пахотном горизонте 30 тыс./1 г почвы, а в подпахотном 20 тыс./1 г почвы. В темных сероземах в пахотном горизонте 150 тыс./1 г почвы, а в подпахотном 20 тыс./1г почвы.

Актиномицеты принадлежат к широко распространенным микроорганизмам почвы. Они способны использовать те вещества, которые недоступны другим видам микроорганизмов и свойствам легко приспосабливаться к изменениям условий среды. Актиномицеты усваивают органические и минеральные формы азота, развиваются на моно-, ди- и полисахаридах, а также на солях органических кислот, способных профилю, расщеплять животные и растительные жиры. Актиномицеты устойчивы к высоким концентрациям солей, некоторые из них способны фиксировать азот из атмосферы. Актиномицеты очень выносливы к высушиванию.

По профилю, как у других микроорганизмов, их содержание убывает от верхних к нижележащим горизонтам. В исследуемых почвах большое количество актиномицетов встречаются на варианте полюцерной и меньшее под пшеницам.

Между испытываемыми микроорганизмами самое малое количество составляют актиномицеты, численность актиномицетов значительно выше в пахотном горизонте, чем подпахотном горизонте. Например, в варианте пшеницы в пахотном горизонте его количество составляет 60 тыс./1г почвы, а в подпахотном горизонте снижается до 30 тыс./1 г. на темных изменяется следующим образом. На несмытых 50 тыс./1г почвы, на смытых 20 тыс./1 г почвы, на намытых 30 тыс./1 г почвы.

Исследования почвенных микроорганизмов в динамике связаны с определением их продуктивности как функции времени, оценкой зависимости числа микробных клеток от факторов окружающей среды. Проблема изучения динамики комплекса почвенных микроорганизмов предполагает, как поиск практических подходов в подобных исследованиях, так и формулировку гипотез, позволяющих объяснить происхождение и природу тех или иных изменений численности почвенных микроорганизмов.

Микроорганизмы обильно населяют не только верхние перегнойные горизонты, но встречаются в меньших количествах и в более глубоких слоях. Необычайное их распространение в почвах объясняется некоторыми благоприятными условиями: наличием органических и минеральных веществ в почве, нужных для их питания; влажностью почвы, защитой от действия лучей солнца и др. Кроме того, почва богата коллоидальными веществами, поглощающими растворимые и газообразные питательные вещества, которые становятся легко доступными для микроорганизмов.

Выводы:

Таким образом, эрозионные процессы оказывают существенное влияние на микрофлору богарных сероземов, влияя на микробное разнообразие, состав и функциональность.

Понимание этой динамики имеет решающее значение для разработки стратегий устойчивого управления почвенными ресурсами, которые сохраняют плодородие почв и устойчивость экосистем. Изучение биологических процессов, протекающих в почве и связанной с ними микрофлоры - главнейшее звено в познании закономерностей выявления почвообразования и плодородия. Поэтому микроорганизмы и связанные с ними биологические вещества имеют важное теоретическое и практическое значение. Микробиологические исследования почв показали одинаковую закономерность: общее количество изученных микроорганизмов уменьшается от пахотного горизонта к подпахотным горизонтам.

Таким образом, из результатов микробиологического анализа почв можно сделать вывод, что под ризосферой сельскохозяйственных культур наиболее распространены аммонификаторы и олигонитрофилы, однако эрозионные процессы оказывают отрицательное влияние на их количество на смытых разностях типичных, и темных сероземов. Запасы микроорганизмов во всех исследованных почвах с учетом эродированности можно расположить в следующий убывающий ряд: намытые-несмытые- и смытые почвы.

Будущие исследования должны быть сосредоточены на выяснении конкретных механизмов, с помощью которых эрозия влияет на микробные сообщества, и определении целевых мер для смягчения неблагоприятных последствий. Интегрируя экологические принципы с практическими практиками землепользования, мы можем обеспечить долгосрочную продуктивность и устойчивость богарных сероземов и других уязвимых почвенных экосистем.

Литература

- Аширматова М.А., Гурович Ш.Р., Каплун С.А. Азотфиксирующая активность сероземов юга и севера Узбекистана. Вопросы географии, химии, физики и биологии почв, Труды, вып.9, Ташкент 1974, -с.56-62
- Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М., Изд-во МГУ, 1989, 336 с.
- Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М., Изд-во МГУ, 1987, 286 с.
- Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
- Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Добровольская Т.Г и др. Вертикально-ярусная организация микробных сообществ лесных биогеоценозов // Микробиология, 1993. Т. 62. Вып.1. С. 5-36.
- Bai, Z., Dent, D., Olsson, L., & Schaepman, M. (2008). Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*, 24(3), 223-234.
- Bell, C. W., Fricks, B. E., Rocca, J. D., Steinweg, J. M., McMahon, S. K., & Wallenstein, M. D. (2013). High-throughput fluorometric measurement of potential soil extracellular enzyme activities. *Journal of Visualized Experiments*, (81), e50961.
- Ceccherini, M. T., Ascher, J., Pietramellara, G., Vogel, T. M., & Fornasier, F. (2009). Microbial diversity in an unperturbed soil and in a soil disturbed by frequent cropping. *Applied Soil Ecology*, 41(3), 215-223.
- de Vries, F. T., Liiri, M. E., Bjørnlund, L., Bowker, M. A., Christensen, S., Setälä, H. M., & Bardgett, R. D. (2012). Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought. *Nature Climate Change*, 2(4), 276-280.
- García-Orenes, F., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerda, A., Campoy, M., Arcenegui, V., ... & Guerrero, C. (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 109(2), 110-115.
- Kamilov, B.S., Makhkamova, A.S., Sodikova, G.S., Kodirov, E.T., 2021. Effect of humate substances on biological activity and physical properties of eroded soils: a case study of Uzbekistan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 939, 012041.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/939/1/012041>
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 685-701.
- Lal, R. (2015). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4), 437-450.

- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60-68.
- Liu, J., & Diamond, J. (2005). China's environment in a globalizing world. *Nature*, 435(7046), 1179-1186.
- Sodikova, G., Mamiev, M., 2024. Amount of Fungi on the Vertical Zoning and Influence of Erosion Processes of the Soils of the South-West Hisor Mountain Range, Uzbekistan, in: Zokirjon ugli, K.S., Muratov, A., Ignateva, S. (Eds.), *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022)*. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 677–687. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-37978-9_67
- Wall, D. H., Nielsen, U. N., & Six, J. (2015). Soil biodiversity and human health. *Nature*, 528(7580), 69-76.

УДК 631.46

МИКРОБНЫЕ ДРАЙВЕРЫ СЕКВЕСТРАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ЧЕРНОЗЕМАХ И ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Семенов М.В.¹, Лебедева Т.Н.^{1,2}, Фарходов Ю.Р.¹, Тхакахова А.К.¹, Ксенофонтова Н.А.¹, Леонов В.Д.^{1,3}, Белов А.А.^{1,4}, Зверев А.О.^{1,5}, Никитин Д.А.¹, Соколов Д.А.^{1,2}

¹ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Лаборатория почвенного углерода и микробной экологии, Москва, email: semenov_mv@esoil.ru

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино

³ Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Москва

⁴ МГУ им. В.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва

⁵ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Пушкин

Почвенное органическое вещество (ПОВ) является одним из крупнейших резервуаров органического углерода (Сорг) на планете и важным депозитарием питательных элементов. Запасы Сорг в почве отражают баланс между микробным разложением органического вещества (ОВ) и стабилизацией микробной некромассы, поэтому почвенные микроорганизмы являются ключевыми драйверами процессов секвестрации, преобразования и стабилизации Сорг в почве. Поскольку валовое содержание Сорг в почве является довольно консервативным показателем, мониторинг запасов и качества ПОВ в агроэкосистемах должен предусматривать использование дополнительных показателей, более чувствительных к изменению землепользования, способам обработки, системам удобрения и к другим технологиям, обеспечивающим нетто-секвестрацию атмосферного углерода. Таковыми показателями являются размеры лабильных и стабильных пулов ПОВ и физиолого-таксономические характеристики почвенного микробиома, связанные с разложением и стабилизацией ОВ в почве.

В задачи исследования входило оценить влияние типов землепользования чернозема и дерново-подзолистой почвы на: 1) размеры структурных ((твердые органические частицы (РОМ) и минерально-ассоциированное органическое вещество (МАОМ)) и процессных ((микробная биомасса (Смик) и потенциально-минерализуемое органическое вещество (С₀)) пулов ПОВ; 2) молекулярный состав и структуру термостабильного, термолабильного и растворимого ПОВ; 3) численность, таксономический состав, физиологические характеристики и экологические стратегии сообществ почвенных прокариот и грибов. Образцы дерново-подзолистой почвы (Тверская обл.) были отобраны почвы под сенокосом (многолетние травы), залежью, пашей и пастбищем с трех глубин (0-10, 10-20, 30-40 см) в пятикратной пространственной повторности. На черноземе типичном (Курская обл.) образцы отбирались под залежью и пашней с пяти глубин (0-10, 20-30, 40-50, 60-70 и 80-90 см) в

трехкратной пространственной повторности. Структурные пулы ПОВ выделяли с помощью гранулометрического фракционирования, процессные – биокинетическим методом и субстрат-индуцированного дыхания. Показатели степени окисленности, разложенности и устойчивости ПОВ определяли с использованием методов двухстадийного пиролиза с газовой хроматографией и масс-спектрометрией, ИК-спектрометрии, УФ-видимой и флуоресцентной спектрометрии. Численность микроорганизмов определяли методом количественной ПЦР в реальном времени. Таксономический состав и разнообразие сообществ почвенных прокариотов и грибов оценивали с помощью ампликонного секвенирования (метабаркодинга) участков 16S рРНК и ITS2. Соотношение копиотрофных и олиготрофных микроорганизмов определяли на основании данных метабаркодинга, а также культивирования на селективных средах. Физиологический профиль и активность почвенного микробиома оценивали с помощью измерения базального дыхания, мультисубстратного тестирования на основе 48 органических субстратов, и измерения кинетики роста микробных сообществ.

Содержание Сорг в дерново-подзолистой почве значительно менялось в зависимости от типа землепользования и снижалось в ряду: сенокос – залежь – пашня – пастбище. Рост содержания Сорг был связан прежде всего с повышением содержания МАОМ. Вклад РОМ в Сорг был существенен для почвы сенокоса и особенно залежи. Почва залежи характеризовалась самыми высокими значениями C/N, РОМ и РОМ/МАОМ, что говорит о доминировании процессов секвестрации С. В почве под пастбищем низкие значения РОМ, МАОМ, РОМ/МАОМ при высоких соотношениях C₀/Сорг указывали на ее высокий эмиссионный потенциал. В отличие от дерново-подзолистой почвы, тренд распределения пулов ОВ в черноземе полностью совпадал с таковым для Сорг: размеры всех пулов ПОВ были значительно выше в черноземе залежи по сравнению с почвой под пашней.

Различия в строении ОВ черноземов от дерново-подзолистых почв связаны с высоким содержанием компонентов «зрелого», сильногумифицированного органического вещества, которое характеризовалось преобладанием среднецепочечных алканов, фурфурола и ароматических углеводородов в составе пиролизатов ОВ. Дерново-подзолистые почвы, напротив, характеризовались высокой долей пиролизатов растительного происхождения: метоксифенолов, длинноцепочечных алканов, ЖК, левоглюкозенона. Особенности строения ОВ пахотных черноземов были связаны с накоплением углеводов, а также высоким содержанием ароматических компонентов. Для ОВ черноземов залежи было характерно высокое содержание компонентов слаботрансформированного ОВ в составе пиролизатов ПОВ – алканов и фенолов. Влияние обработки почвы на химический состав ОВ дерново-подзолистых почв выражалось в преобладании полициклических ароматических углеводородов в составе пиролизатов, а также соединений с карбонильными группами.

С помощью молекулярных методов анализа почвенной ДНК было установлено достоверное влияние разных типов сельскохозяйственного землепользования на численность, таксономическое и функциональное разнообразие микробиома почв агроэкосистем.

Таксономический состав прокариотных сообществ почв кластеризовался по типу землепользования и глубины. В дерново-подзолистой почве наибольшее микробное разнообразие было выявлено под пашней и пастбищем, наименьшее – под залежью и сенокосом. Были предложены новые микробиологические индикаторы процессов минерализации и секвестрации почвенного углерода в агроэкосистемах на основе оценки соотношения таксонов микроорганизмов и их экологических стратегий:

копиотрофы/олиготрофы, грибы/бактерии. Отношение копиотрофы/олиготрофы коррелировало со всеми пулами ПОВ, но прежде всего определялось содержанием C₀. Отношение МАОМ/Сорг характеризовалось тесной положительной корреляцией с отношением бактерии/грибы, qCO₂, численностью олиготрофов, и отрицательной связью с долей копиотрофов, активностью базального дыхания и физиологическим разнообразием почвенного микробиома. Как показали полученные результаты, высокие значения

отношения МАОМ/Сорг связаны со стабилизацией углерода и его низкой доступностью для микробного разложения. Напротив, соотношения РОМ/Сорг и РОМ/МАОМ положительно коррелировали с отношением грибов / бактерии, копиотрофы/олиготрофы и микробной активностью. Таким образом, изменение соотношений структурных и процессных пулов ОБ почвы приводит к перестройке таксономического и функционального разнообразия почвенного микробиома, увеличению доли копиорофных микроорганизмов в микробном сообществе почв и повышению их роли в процессах трансформации секвестрированного С.

Работа выполнена молодежной Лабораторией почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022-0018).

УДК 631.467.2

СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД В УСЛОВИЯХ ИНВАЗИИ РАСТЕНИЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

Сущук А.А., Калинкина Д.С., Иванова В.А., Матвеева Е.М.

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИБ КарНЦ РАН), Петрозаводск, anna_sushchuk@mail.ru

Формирование новых растительных сообществ под влиянием агрессивного инвазивного вида, борщевика Сосновского *Heracleum sosnowskyi* Manden. приводит к изменениям структуры и функционирования всех компонентов природных сообществ, в том числе почвенных экосистем. В связи с этим и малой изученностью данного вопроса была определена следующая цель работы: изучить особенности сообществ почвенных нематод в условиях инвазии *H. sosnowskyi*, а также выяснить роль почвенных условий и географической широты биоценоза как факторов формирования структуры сообществ нематод.

Отбор почвенных проб проводился под сплошными зарослями *H. sosnowskyi* в Республике Карелия (поселки Эссойла и Шуя; 61°49' с.ш., 33°09' в.д. и 61°52' с.ш., 34°14' в.д.), Ленинградской (60°05' с.ш., 32°23' в.д.) и Московской (55°37' с.ш., 36°28' в.д.) областях. Исследование выполнено с применением стандартных методик, используемых в экологической нематологии – отбор 9 почвенных проб на глубину 0-15 см на каждой пробной площадке, выделение нематод из почвы модифицированным методом Бермана, фиксация ТАФом, идентификация на основе морфологических признаков до уровня рода. В результате проведенного исследования показано, что наибольшие (2758 экз./100 г почвы) и наименьшие (1639 экз.) значения общей численности почвенных нематод выявлены в Карелии. Разнообразие нематод варьировало от 20 (пос. Эссойла, Карелия) до 31 рода нематод (для пос. Шуя (Карелия) и Ленинградской области). Эколого-трофическая структура сообществ нематод характеризовалась доминированием бактериотрофов и политрофов (44 и 24 %, соответственно; пос. Эссойла), а также политрофов и нематод, ассоциированных с растениями (27 и 21 %, пос. Шуя) в Карелии, высокой долей бактериотрофов (50 %) и паразитов растений (27 %) – в Ленинградской области, бактерио- и микотрофов (75 и 13 %) – в Московской области. Соотношение эколого-популяционных индексов (индекс структурирования SI, индекс обогащения EI) характеризует изученные почвенные экосистемы как мало- и нарушенные (квадраты В и С фаунистического профиля), за исключением борщевика Московской области, где почвенная экосистема находится в условиях стресса (квадрат D профиля). Последний биоценоз также выделяется бедностью

почв (низкий уровень углерода, азота и фосфора согласно химическому анализу почвенных образцов).

В результате проведения статистического анализа с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена показана связь между почвенными параметрами и некоторыми нематологическими характеристиками. Так, установлена достоверная отрицательная связь между уровнем рН и обилием политрофов, нематод, ассоциированных с растениями (Аср) и индексом SI, а также положительная – между указанным параметром и обилием бактериотрофов. Кроме того, индекс SI и обилие Аср положительно коррелируют с содержанием углерода и азота в почве, а обилие фитопаразитов – с содержанием фосфора. В то же время исследованные параметры почвы не оказали значимого влияния на общую численность нематод и индекс разнообразия Шеннона H' .

Выявлено, что географическая широта биоценоза статистически значимо (при $p < 0,05$) влияет на относительное обилие политрофов ($r_s=0,73$) и нематод, ассоциированных с растениями ($r_s=0,70$), а также на индекс SI ($r_s=0,83$). Ранее сходные закономерности широтной изменчивости нематологических параметров были показаны авторами для агроценозов Карелии.

Таким образом, в результате проведенного исследования получены новые данные о фауне почвенных нематод и структуре их сообществ в условиях инвазии *H. sosnowskyi*, установлены некоторые географические закономерности изменения нематологических параметров в региональном масштабе и оценена роль локальных почвенных условий, в частности кислотности, содержания углерода, азота и фосфора как факторов формирования разнообразия и структуры сообществ нематод в местах произрастания борщевика.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00512, <https://rscf.ru/project/24-24-00512/>.

УДК 631.46

ОБ ОТСУТСТВИИ КОРРЕЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ г. БИШКЕК

Терехова В.А.^{1*}, Айдыралиева Ч.Б.², Горленко М.В.¹, Кулачкова С. А.¹, Худайбергенова Б.М.³ ¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail; vterekhova@gmail.com ;

²Международная высшая школа медицины, Бишкек, Кыргызстан

³Национальная академия наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан
e-mail: khudaiberbermet@gmail.com

Исторически оценки почв и поиск оптимальных индикаторов экологического состояния почвенных экосистем были сосредоточены на обеспечении продуктивности агроценозов и производства качественной сельскохозяйственной продукции. Сегодня забота о здоровье почв включает существенно более широкие аспекты, которые отражают роль почвы в изменении климата, качестве воды и здоровье человека. В качестве инструментов прогнозирования устойчивости наземных экосистем уделяется большое внимание комплексному взгляду на показатели здоровья почвы. Системный подход, основанный на различных видах показателей (физических, химических и биологических) при оценке здоровья почвы дает более объективное представление о безопасности, перспективах устойчивого функционирования и достижении целей устойчивого развития.

Несмотря на растущее понимание важности биотических показателей, биоразнообразия почвы при количественной оценке здоровья почвы по-прежнему преобладают химические индикаторы. Это объясняется как отсутствием эффективных методов, так и ограниченностью знаний о функциональных связях биотических и химических индикаторов.

Для количественной оценки содержания в почвах, загрязненных несколькими поллютантами, традиционно используют интегральный показатель химического

загрязнения почв ($Z_{ст}$). Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) принято контролировать по их валовому содержанию. К числу перспективных приемов оценки здоровья почв относят анализ функциональной активности микробиомов по выделению CO_2 (базальному дыханию) и структуре их микробных сообществ по спектру потребления органических субстратов на основе мультисубстратного тестирования (МСТ), называемому «метаболическим профилированием». В работе проанализированы связи **индексов суммарного химического загрязнения урбаноземов тяжелыми металлами и откликами микробных сообществ.**

Исследования проводились на почвах разных функциональных зон города. Бишкек. В качестве доминирующего фактора воздействия на почвенные экосистемы рассматривали химическое загрязнение тяжелыми металлами от транспортных потоков и ТЭЦ. Методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии DELTA определено валовое содержание следующих элементов: Pb, As, Zn, Cu, Co, Mn, Cr, Cd, Hg, Sb. По полученным результатам измерений выполнены расчеты коэффициента концентрации химического вещества (K_c) показатель Саета (Z_c) с учетом токсичности катионов. Определение потенциальной биологической активности почвы и содержания углерода микробной биомассы проводили с помощью газохроматографического метода. Для оценки функционального разнообразия микробного сообщества применяли метод мультисубстратного тестирования (МСТ).

В результате установлены вполне ожидаемые закономерности пространственного распределения содержания исследованных катионов: по мере удаления от источников загрязнения и по мере снижения в целом техногенной нагрузки превышение концентрационных показателей над ПДК снижалось. Расчетные показатели суммарной микробной биомассы слабо коррелировали с интегральными индексами химического загрязнения. Расширенный анализ главных компонент (advanced PCA) для выявления специфики влияния тяжелых металлов на исследованные параметры функционального биоразнообразия показал, что все исследованные металлы действуют по-разному на микробиологические показатели. Выделены три группы металлов (As -Pb- Cu- Co), (Hg- Cr - Mn) и (Cd- Zn- Sb), имеющие свои характерные токсические профили. Обработка всего массива экспериментальных данных с помощью факторного анализа позволила провести четкую дифференциацию точек, которые сгруппировались точно в соответствии с их географическим происхождением, позволяя однозначно выявить локусы отбора образцов (рис.)

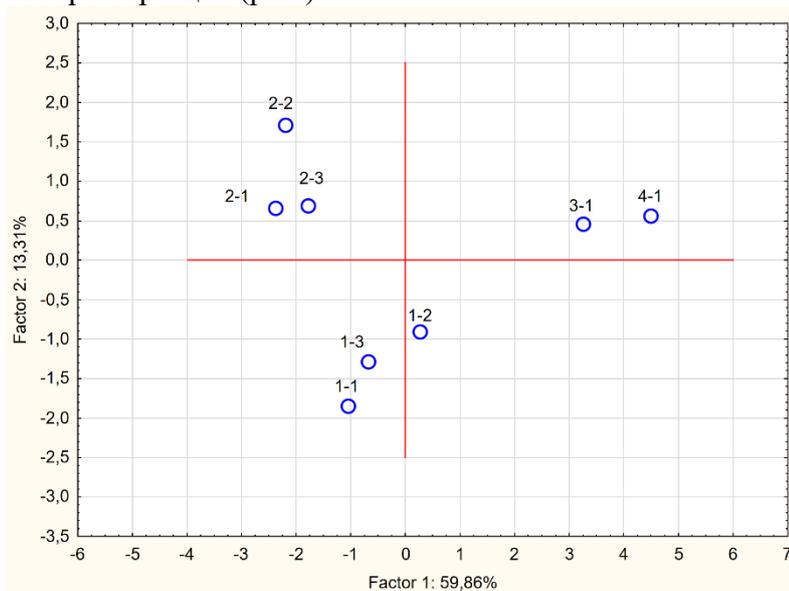


Рис. Результаты факторного анализа на основании химических и всего массива биологических данных в образцах урбаногема: дифференциация точек отбора образцов, которые сгруппировались точно в соответствии с их географическим происхождением

Индекс суммарного загрязнения $Z_{ст(r)}$ в данном исследовании не имел значимых корреляций ни с одним из исследованных биотических показателей почвенного микробиома. Отсутствие прямой взаимосвязи и специфического влияния на функциональные характеристики микробиоты свидетельствует о том, что как интегральный параметр $Z_{ст(r)}$ не имеет ясного биологического смысла. Это подчеркивает необходимость комплексной междисциплинарной оценки экологического качества почв. Здоровью городских почв в этом отношении должно уделяться не меньше внимания, чем почвам агроэкосистем. Почвы урбоэкосистем - основа устойчивости и сохранения биоразнообразия в городе. Они способны поддерживать в экологическом равновесии и функциональности хорошо сбалансированную экосистему. Следует заключить, что системный подход, основанный на различных видах показателей (физических, химических и биологических) при оценке здоровья почвы, надежнее и безопаснее, чем использование только одного вида показателей.

УДК 631.46

ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОСТОВ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ФЕРМЕНТАЦИИ НА МИКРОБИОМ И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ.

Тхакахова А.К., Никитин Д.А., Ксенофонтова Н.А., Пинчук И.П., Алексеева М.Г., Кашкова А.А., Семенов М.В.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Лаборатория почвенного углерода и микробной экологии, Москва, email: tkhakakhova_ak@esoil.ru

Куриный помёт и компосты на его основе представляют собой ценные органические удобрения, способные положительно влиять на плодородие почвы и значительно повышать урожайность сельскохозяйственных культур. Внесение компостов в почву в качестве органических удобрений приводит к «эвтрофикации» почвы – искусственному обогащению почвенной среды легкодоступными субстратами и биофильными элементами. В этом случае большая часть почвенных микроорганизмов, обычно находящихся в покое, переходит в активное состояние, поэтому эвтрофикация почвы является важнейшим агроэкологическим фактором, влияющим на почвенный микробиом. Технологии компостирования характеризуются различными режимами температуры, влажности и аэрации, что в конечном итоге определяет количество и качество органического вещества в компостах и их влияние на плодородие и микробиом почв. Целью исследования было изучение влияния куриного помёта и компостов на его основе на численность, биомассу и активность почвенного микробиома в рамках полевого опыта.

Долгосрочный эксперимент был заложен на базе опытных полей Всероссийского НИИ мелиорированных земель Тверской области в 2023 году. Почва – агродерново-подзолистая (Umbric Albic Retisol (Aric)). Всего была заложена 21 экспериментальная площадка, каждая площадью 70 м². Варианты опыта: 1) Без внесения удобрений (Б/У); 2) Куриный помёт, полежавший в буртах (КП) 12.5 и 25 т/га; 3) Компост экспресс- ферментации (ЭФ) 12.,5 и 25 т/га; 4) Компост длительной ферментации (ДФ) 1 и 10 т/га. Внесение удобрений проводили перед посадкой культур трехпольного севооборота: картофель – однолетние травы – яровая пшеница. Образцы почв первого года полевого опыта были отобраны в мае (перед внесением удобрений), июле и сентябре 2023 года. Численность основных групп микроорганизмов (бактерий, архей и грибов), а также грибов-фитопатогенов *Verticillium spp.*, *Fusarium sp.* оценивали методом количественной ПЦР. Определяли содержание углерода микробной

биомассы (Смик) методом субстрат-индуцированного дыхания и величину базального дыхания.

Содержание NO_3^- возрастало с увеличением доз удобрений. При этом, значение NH_4^+ не менялось в вариантах с внесением удобрений по сравнению с почвой контроля. Содержание подвижных К и Р увеличивалось в вариантах с внесением повышенных доз удобрений в 2 раза. Однократное внесение повышенных доз органических удобрений не оказывало влияния на содержание общего органического углерода (Сорг).

Внесение высоких доз компоста экспресс-ферментации (ЭФ 25 т/га) повышало содержание углерода микробной биомассы (Смик) на 23% по сравнению с почвой без удобрений, тогда как в остальных вариантах его содержание увеличилось незначительно (на 1-9%). Базальное дыхание увеличилось в 3 раза в варианте ЭФ 25 т/га и уменьшилось на 24% в варианте ДФ 1 т/га по сравнению с контролем. В варианте ДФ 10 т/га численность копий генов грибов была на порядок выше, а бактерий в 2.5 раза выше, чем в других вариантах. Почва с внесением высоких доз удобрений характеризовалась более высоким соотношением грибов/бактерии во всех сроках отбора. Внесение органических удобрений приводило к повышению численности генов представителей рода *Verticillium spp.* Во всех вариантах. Доля *Verticillium spp.* в общей численности генов грибов оказалась значительно выше в варианте с внесением низких доз удобрений в период вегетации картофеля. Таким образом, однократное внесение куриного помета и компостов на его основе в почву значительно влияет на содержание элементов питания растений (N, P, K), но не приводит к заметным изменениям в содержании органического углерода. В то же время, внесение компостов приводит к резкому увеличению общей микробиологической активности, а также численности грибов и соотношения грибов/бактерии.

Работа выполнена молодежной Лабораторией почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2022-0018).

УДК 631.46:631.48:930.26

ОСОБЕННОСТИ ПУЛА ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ В АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВАХ

Чернышева Е.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail: chernysheva1988@gmail.com

Проведено исследование активности 11 гидролитических ферментов, участвующих в биогеохимических циклах основных элементов. В качестве объектов исследования выбраны каштановые почвы (Kashtanozem) и солонцы (Solonetz) сухостепной зоны (Ростовская область), почвы средневековых земледельческих террас среднегорного Дагестана и Кисловодской котловины (Plaggic и Hortic Anthrosol), дерново-карбонатные почвы (Rendzina), культурные слои древних поселений и почвы загонов для скота (Mollic Leptosols) в горной зоне Центрального Кавказа.

В целом, во всех случаях ферментативная активность изученных почв, во всех почвенных слоях уменьшалась в следующем ряду: щелочная фосфатаза > фосфодиэстераза > кислая фосфатаза > пирофосфатаза ≥ лейцинаминопептидаза > арилсульфатаза > хитиназа > β-глюкозидаза > ксиланаза > α-глюкозидаза > целлюбиогидролаза.

Исследование ферментативной активности почв различных экосистем показало, что наиболее существенный вклад в разделение ферментативной активности внес антропогенный фактор, связанный с распашкой с использованием органических удобрений, а также содержание скота. Сельскохозяйственная практика привела к ослаблению взаимосвязи ферментативной активности с основными почвенными характеристиками,

такими как содержание глины и органического углерода. Однако ферментативная активность изученных почв, в значительной степени определялась величиной микробной биомассы, так активность ферментов различных групп на 61–94% зависела от микробной биомассы. Полученные результаты могут также свидетельствовать и о более сложном, многофакторном характере зависимости ферментативной активности от условий окружающей среды. На уровне тенденций можно говорить о большей активности, ферментов фосфорного и азотного циклов, в почвах с высоким содержанием органического вещества и со средне-тяжелосуглинистым гранулометрическим составом. Активность ферментов углеродного цикла в большей степени зависела от количества осадков, но, вероятно, существенное значение имел и состав растительности, а также насыщенность почвенного поглощающего комплекса кальцием.

Распашка почв приводит к конвергенции активности ферментов азотного цикла в террасных почвах горной зоны Центрального и Восточного Кавказа, что связано со сходными особенностями круговорота азота в агрогенных почвах, независимо от биоклиматических условий.

В подкуранных солонцах ферментативная активность сохраняется на протяжении 700–800 лет; в более древних почвах активность всех ферментов была на минимальном уровне, либо не фиксируется.

Внесение органических материалов привело к увеличению физиологической эффективности микробных сообществ и скорости продуцирования ферментов, при этом увеличенный пул ферментов может сохраняться на протяжении более 5000 лет. Ферментативная активность, рассчитанная на единицу микробной биомассы, в большей степени отражает особенности хозяйственной деятельности в прошлом и может использоваться как показатель антропогенной трансформации почв.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 22-68-00010.

УДК 631.454

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА «ИВАН ОВСИНСКИЙ- ФУЛЬВОГУМАТ» НА ХЛОПЧАТНИКЕ СОРТА «БУХАРА-6» В УСЛОВИЯХ БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Шарипов О.Б.¹, Каримова Х.М.²

¹Бухарский государственный университет, г.Бухара, Узбекистан, e-mail:

Sharipov3003@mail.ru

²Агентство по карантину и защите растений Республики Узбекистан, г.Ташкент, Узбекистан

e-mail: karimovakhalida@mail.ru

Недостаток органического вещества в верхнем слое почвы приводит к резкому снижению количества полезных микроорганизмов. В последние годы отмечается, что фузариозный вилт поражает сорта, выращиваемые во всех регионах страны. В опыте, проведённом в Бухарской области, предпосевная обработка семян хлопчатника препаратами Иван Овсинский- фульвогумат и опрыскивание в фазу 2-3-х настоящих листьев и фазу бутонизации оказали определённое положительное влияние на заболеваемость растений фузариозным вилтом. На орошаемых лугово-аллювиальных почвах за счет применения фульвогумата «Иван Овсинский» повысилась устойчивость хлопчатника к различным заболеваниям и улучшились агрохимические свойства почвы, получена дополнительная урожайность 2,3-3,5 ц/га хлопчатника. Рентабельность хозяйства увеличилась с 15,9 % до 21,4 % соответственно. Рекомендуются использовать этот препарат на луговоаллювиальных почвах Бухарского оазиса.

В опыте, проведённом в Бухарской области, предпосевная обработка семян хлопчатника препаратами Иван Овсинский-фульвогумат и опрыскивание в фазу 2-3-х настоящих листьев и фазу бутонизации оказали определённое положительное влияние на заболеваемость

растений фузариозным вилтом. При этом в течение 75 дней, прошедших от времени появления полных всходов, погибло из-за фузариозного вилта 28,4% растений, причём гибель большого числа растений (22,0%) наблюдалась в течение первых 15 дней – в фазе всходов. Развитие болезни продолжалось и после этого срока, однако в течение следующих периодов погибало значительно меньше растений. Биологическая эффективность препарата Иван Овсинскийфульвогумат, вычисленная на основе разницы в количестве погибших от болезни растений в опытном и контрольном вариантах, к фазе начала раскрытия коробочек составила 60,2%.

Биологическая эффективность эталонного препарата была близка к таковому препарату Иван Овсинский и составила 66%. Полученные в нашем испытании результаты согласуются с многочисленными литературными сообщениями о том, что основной вред фузариозного вилта хлопчатника наблюдается на ранних фазах развития растений. Симптомы болезни на всходах включали появление хлорозов и некрозов на листьях, а затем увядание и гибель растений. Данные показывают, что применение препаратов Иван Овсинскийфульвогумат для протравки семян и опрыскивания растений в фазу 2-3-х настоящих листьев и фазу бутонизации препаратом Иван Овсинский - оказало определённое положительное влияние на заболеваемость растений фузариозным вилтом – количество погибших от болезни растений было на 12,2% меньше, чем в контрольном варианте.

В частности, в контрольном варианте средняя высота хлопчатника составила 88,1 см, а во 2-м, 3-м и 4-м вариантах опыта значение этого показателя оказалось на 5,4–7,3 см выше, чем в контрольном варианте. Аналогичная картина наблюдалась и по количеству плодовых элементов у растения. В конце вегетации среднее количество плодоземлементов в контрольном варианте составляло 9,1, а в опытных вариантах 2, 3 и 4 количество плодоземлементов было на 2,0–3,4 больше, чем в контрольном варианте.

Кроме того, данные, регистрирующие фактические уровни плотности растений в конце вегетационного периода, показывают, что никаких существенных различий между вариантами по этому показателю не наблюдалось. Урожайность хлопка обычно определялась путем ручного сбора урожая и результаты показали, что около 70% основного урожая было собрано при первом сборе. На контрольном варианте урожайность хлопко-сырца составляет 36,6 ц / га, на 2 опытном варианте составляет 38,9 ц / га, 40,1 ц / га., а на 1-м варианте опыта.

УДК 631.46:633.11

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РИЗОСФЕРЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Шулико Н.Н.

Омский аграрный научный центр, Омск, shuliko@anc55.ru

Использование ризосферных микробов, стимулирующих рост растений, становится эффективным подходом к уменьшению глобальной зависимости от химических веществ, повышению стрессоустойчивости растений, ускорению роста и обеспечению продовольственной безопасности. В этой связи, для выявления эффективности применения бактериальных удобрений комплексного действия, в почвах Омского Прииртышья необходим мониторинг изменения численности агрономически ценной микрофлоры.

Цель исследований – изучить влияние применения биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов на биологические свойства ризосферы яровой пшеницы

Работу выполняли в 2023 г. на опытном поле ФГБНУ «Омский АНЦ». Испытания проводили на сортах яровой мягкой пшеницы селекции Омского АНЦ - Омская 42, Тарская 12, Омская 44, твердой пшеницы - Омский Коралл. Выбор сортов обусловлен различными морфологическими и производственными характеристиками, группами спелости, а также генотипическими особенностями.

Для инокуляции семян использовали препараты комплексного действия, изготовленные во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ ВНИИСХМ, г. Санкт-Петербург, Пушкин) Мизорин (*Arthrobacter mysorens*), Флавобактерин (*Flavobacterium*).

Инокуляцию семян всех сортов проводили в день посева.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: сорт яровой мягкой пшеницы (фактор А) – Омская 42, Омская 44, Тарская 12, Омский Коралл; бактериальный препарат для инокуляции семян (фактор В) – без препарата, Мизорин, Флавобактерин.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднemocная среднегумусная тяжелосуглинистая с содержанием в пахотном (0...20 см) слое гумуса – 6,5 %, общего азота – 0,32 %, рН водн – 6,5. Содержание нитратного азота в почве до 10 мг/кг в слое 0-20 см (очень низкое), подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 120 и 297 мг/кг (высокое и очень высокое). Учет микроорганизмов ризосферы растений проводили на твердых питательных средах по общепринятым методикам. Вегетационный период 2023 г. был недостаточно увлажненным, ГТК за май-август составил 0,81.

Анализ ризосферной микрофлоры пшеницы мягкой и твердой посеянной на лугово-черноземной почве на опытных полях Омского АНЦ выявил неоднозначную ее реакцию на изучаемый агроприем (культура - А, биопрепарат - В).

Общая численность сапротрофных бактерий, в т.ч. аммонификаторов на мясо-пептонном агаре составляла в контрольных вариантах мягкой пшеницы 11,4-15,8 млн КОЕ/г абс. сух. почвы, твердой пшеницы - 12,7 млн КОЕ/г абс. сух. почвы (таблица). Применение биопрепаратов в посевах мягкой пшеницы приводило к росту тестируемых микроорганизмов, с максимальным их количеством в почве под пшеницей Омская 44 и Тарская 12 (на 17 и 36% выше контроля) в варианте Флавобактерин. Применение Мизорина стимулировало рост микробов на 20% лишь у пшеницы Омская 44.

В ризосфере твердой пшеницы наблюдали несколько иную ситуацию: существенную стимуляцию роста микроорганизмов на МПА отмечали при применении обоих препаратов - на 25% (Мизорин) и 39% (Флавобактерин).

На численность амилотической микрофлоры (микроорганизмы на КАА) в ризосфере мягкой пшеницы наибольшее положительное влияние оказала интродукция в почву *Flavobacterium sp.*, у сортов Тарская 12 и Омская 44 отмечен существенный ($p < 0,05$) рост группы на 54 и 76% относительно контроля, меньшее положительное влияние оказал Мизорин рост составил 10 и 45% (в ризосфере вышеупомянутых сортов). В развитии прикорневой микрофлоры пшеницы сорта Омская 44 существенных изменений от агроприема не выявлено. Аналогично сапротрофным бактериям, численность амилотических микроорганизмов в значительной мере возрастала - на 18% (Флавобактерин), на 56% (Мизорин).

Таблица – Количество ризосферной микрофлоры пшеницы при применении биопрепаратов, млн КОЕ/г, 2023 г., (n=3).

Вариант		Сапротрофные бактерии	Амилотические микроорганизмы
Омская 42	Контроль	12,4	9,5
	Мизорин	13,8	9,1
	Флавобактерин	11,6	7,1
Тарская 12	Контроль	11,4	5,9
	Мизорин	12,0	6,5
	Флавобактерин	15,5	9,1
Омская 44	Контроль	15,8	7,8
	Мизорин	19,0	11,3

	Флавобактери н	18,5	13,7
Омский Коралл	Контроль	12,7	8,3
	Мизорин	15,9	13,0
	Флавобактери н	17,7	9,8
НСР ₀₅ А		17,5	10,7
НСР ₀₅ В		15,1	9,3

Таким образом, численность микроорганизмов ризосферы в основном зависела от сложившихся погодных условий, применяемого биопрепарата и сорта культуры. Наиболее отзывчивой на инокуляцию была сапротрофная и амилолитическая микрофлора пшеницы сорта Омская 44 и Тарская 12, при применении Флавобактерина. В ризосфере твёрдой пшеницы Омский Коралл отмечена стимуляция роста микроорганизмов на мясо-пептонном агаре: на 25% вариант Мизорин, 39% вариант Флавобактерин.

*исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>.

УДК 631.427+591.9

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СУКЦЕССИИ МИКРООРГАНИЗМОВ И ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЗАСОЛЕНИЯ ПРИОЗЕРНЫХ ПОЧВ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ХАКАСИИ

Якутин М.В.¹, Андриевский В.С.¹, Анопченко Л.Ю.²

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, yakutin@issa-siberia.ru;

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, milaa2006@ngs.ru

Биота засоленных почв на протяжении длительного времени вызывает значительный интерес зоологов и микробиологов, но комплексные исследования сообществ почвообитающих животных и микроорганизмов в условиях засоления единичны. Слабо изученными остаются особенности процессов трансформации зоо-микробиального комплекса в процессе естественного засоления почвенных профилей луговых почв.

Настоящее исследование было проведено в степной зоне Хакасии на побережье соленого озера Шира. Для равнинных озер Хакасии вообще характерны вековые колебания уровня воды, что приводит к периодическому затоплению прибрежных луговых почв с увеличением степени их засоления. При изучении особенностей естественного процесса эволюции почв в условиях засоления почвенного профиля были оценены особенности трансформации основных компонентов деструкционного звена биологического круговорота.

Микробиальный компонент деструкционного звена оценивался по уровню биомассы и параметрам метаболической активности, а зоологический компонент – по численности и видовому богатству панцирных клещей. В качестве объекта исследования были выбраны две экосистемы на побережье соленого озера, различающиеся расстоянием от уреза воды: злаково-солянковый заболоченный луг на солончаке озерном в 10 м от уреза воды и разнотравно-злаковый остепненный луг на лугово-черноземной почве в 50 м от уреза воды. Экосистемы в сельском хозяйстве не используются.

При переходе от лугово-черноземных почв к солончакам происходит увеличение степени влагообеспеченности почв и одновременно увеличивается концентрация солей в почвенном профиле. Показано, что трансформация зоо-микробиального комплекса луговых почв в процессе засоления средней степени происходит по пути незначительного уменьшения массы и увеличения метаболической активности (микробиологическая часть комплекса), и резкого снижения численности и видового богатства (зоологическая часть комплекса). При

этом при переходе от лугово-черноземной почвы к солончаку отмечается снижение С-биомассы на 9%, а базальное дыхание и метаболический коэффициент увеличиваются в 3 раза. Увеличение метаболического коэффициента в данном случае, по-видимому, является индикатором изменений в микробном сообществе. В то же время видовое богатство панцирных клещей в черноземно-луговой почве оказывается в 7 раз, а численность – в 20 раз выше по сравнению с солончаком. Таким образом, зоологический компонент деструкционного звена биологического круговорота оказывается более подверженным воздействию повышенных концентраций растворимых солей в почвенном профиле, чем микробный компонент.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что сообщества панцирных клещей, и микроорганизмов в приозерных почвах по-разному реагируют на засоление почвенного профиля, которое одновременно связывается с увеличением уровня увлажнения. Средние концентрации солей в верхних горизонтах приозерных почв в степной зоне приводят к резкому снижению показателей численности и видового богатства панцирных клещей, для которых такое засоление является стрессовым, но незначительно снижают биомассу почвенных микроорганизмов и приводят к росту ее метаболической активности. Одновременно наблюдается рост удельной активности микроббиомассы, что может свидетельствовать о трансформации микробного комплекса. Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало несинхронное изменение основных показателей зоологического, и микробного компонентов деструкционного звена биологического круговорота в процессе увеличения концентрации солей до средних значений с одновременным увеличением уровня влагообеспеченности приозерных почв.

УДК 631.463

СРАВНЕНИЕ АНТОГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АКТИНОМИЦЕТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ КИШЕЧНИКА *CYLINDROIULUS CAERULEOCINCTUS* И *PORCELLIO SCABER*

Якушев А.В., Грачева Т.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: a_yakushev84@mail.ru

Цель работы – определить антибиотическую активность и сравнить между собой спектры антагонизма мицелиальных актинобактерий, ассоциированных с представителями почвенной сапрофагической мезофауны г. Москвы - диплоподами *Cylindroiulus caeruleocinctus* и мокрицами *Porcellio scaber*. Задачи: 1. Выделить изоляты актиномицетов из корма (опад), экскрементов и кишечника животных. 2. Определить антагонистическую активность актиномицетов методом агаровых блоков по отношению к тест-культурам: *E. coli*, *St. aureus*, *A. niger*, *M. luteus* 3. Провести видовую идентификацию изолятов. В результате посевов было выделено 26 чистых культур актиномицетов из рода *Streptomyces*. Из них: 3 из опада, 10 из кишечника кивсяков, 4 из кишечника мокриц, 5 из экскрементов кивсяков и 4 из экскрементов мокриц. В ходе работы, было установлено, что спектры антагонистической активности большинства штаммов актиномицетов, выделенных из экскрементов, кишечника кивсяков и мокриц совпадают со спектрами штаммов, выделенных из корма (опада), что указывает на транзитную роль исследованных штаммов в кишечнике. 5 штаммов, выделенных из кишечника и экскрементов диплопод и мокриц, показали специфичность антимикробной активности, заключающаяся в большем подавлении микроорганизмов, связанных с животными (*E. coli*, *St. aureus*), чем микроорганизмов, связанными с растительными остатками (*A. niger*, *M. luteus*). Предполагаем, что именно эти штаммы актиномицетов являются резидентными для кишечника. Работа выполнена в рамках темы государственного задания “Почвенные микробиомы: геномное разнообразие, функциональная активность, география и биотехнологический потенциал”, № 121040800174-б.

(F) IV КОМИССИЯ. АГРОХИМИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

AN ASSESSMENT OF RICE RESIDUE BASED BIOCHAR AS A POTENTIAL AMENDMENT TO ENHANCE GROWTH AND YIELD OF WHEAT CROP

Gaurav, A¹, Diptanu, B¹, Chandra M Mehta^{1*}, Prasann, K¹, Nishihara, E², Inubushi, K³, Sudo, S⁴, Hayashida, S⁵, Patra, PK^{5,6}

¹Discipline of Agronomy, School of Agriculture, Lovely Professional University, Punjab, India;

²Tottori University, Tottori, Japan;

³Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Applied Biosciences, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan;

⁴NIAES-NARO, Tsukuba, Japan;

⁵Research Institute for Humanity and Nature, Japan;

⁶JAMSTEC, Japan

*corresponding author email: chandra.18376@lpu.co.in

Present study was aimed to investigate the impact of rice husk and straw biochars on growth and yield attributes of wheat (*T. aestivum* L.). Biochar prepared for this study was first characterized using Thermogravimetric analysis (TGA), Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) and Energy Dispersive X-ray (EDX) mapping. TGA revealed distinct mass loss stages during pyrolysis. FESEM showed highly porous biochar structures, beneficial for soil aeration and water retention. EDX mapping indicated predominant elements like carbon, oxygen, and silica, with trace nutrients essential for plant growth. A field trial was conducted on wheat crop across nine treatments: T₁ (control), T₂ (NPK recommended dose), T₃ (NP without K), T₄ (rice husk biochar at 5 t/ha), T₅ (rice husk biochar at 10 t/ha), T₆ (rice husk biochar at 15 t/ha), T₇ (rice straw biochar at 5 t/ha), T₈ (rice straw biochar at 10 t/ha), and T₉ (rice straw biochar at 15 t/ha). Results of the biochar amendments were evaluated against the conventional practices i.e. T₂ and the most promising results were reported in treatment T₄ and T₇ followed by T₅ and T₈. As compared to conventional method (T₂), treatment T₄ i.e. 5 t/ha rice husk biochar showed maximum improvement in Soil Organic Carbon (SOC) by 38.5% and elevated Electrical Conductivity (EC) by 41.8%. This change in soil matrix also affected the plant traits as plant height (29.5%), Leaf Area Index (LAI) (31.7%) and Chlorophyll Index (28.2%) increased in T₄. All these attributes supported the plant growth and ultimately the yield attributes in T₄ treatment like; Number of Productive Tillers (37.4%), Spike Length (21%) and Grain Yield (17.2%) increased.

УДК 631.811.982:631.895

ДЕЙСТВИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ НА ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА

Акишина М.М.^{1,2}, Воронина Л.П.¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;

²АНО НЭСТ М, Москва, voronmari6@gmail.com

В настоящее время остается малоизучена физиолого-биохимическая роль отдельных групп фенолов, обладающих высокой биологической активностью. Так функции гидроксикоричных кислот, относящихся к фенилпропаноидам, и, в частности, кофейной кислоты, остаются невыясненными. В свою очередь эффективность гидроксикоричных кислот исследована и используется в производстве такого регулятора роста, как Циркон, проявляющего значимое влияние на растения, особенно в жарких, засушливых условиях и условиях солевого стресса. Кофейная кислота (КК), в отличие от других гидроксикоричных кислот, в растении преимущественно содержится в свободном виде, что увеличивает её возможность участия в регуляции физиолого-биохимических процессов.

Цель данной работы заключалась в изучение действия разных концентраций кофейной кислоты на продуктивность ячменя, выявление наиболее эффективных ее действующих концентраций, как в обычных условиях развития растений, так и в присутствии солевого стресса.

В серии лабораторных экспериментов с использованием разных тест-культур (редис, горчица, овес, ячмень, пшеница, маш) и в вегетационном опыте на растениях ярового ячменя *Hordeum vulgare* L., сорта Нур исследовалось влияние кофейной кислоты.

Серия экспериментов по выявлению активности разных концентраций кофейной кислоты включала несколько методических подходов по фитотестированию: экспресс-метод фитотестирования состояния агроценозов и агрохимикатов (в чашках Петри); фитотестирование в пластиковых плоских планшетах аппликатным способом, согласно методике предназначенной для измерения биологической активности – “Фитоскан-2”; метод фитотестирования в условиях выращивания растений в водных растворах.

Вегетационный опыт проводили на серой лесной среднесуглинистой почве (содержание органического вещества 3,8%; реакция почвенного раствора слабокислая ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,9 \pm 0,1$)). В фазу 2-3 листа вносили раствор NaCl (7,5 г/л). Обработку растений кофейной кислотой проводили фолитарно один раз в фазу кущения. В опыте использовали три концентрации КК, обоснованные по результатам предварительных лабораторных экспериментов: КК 100мкМ, КК 50мкМ, КК 10мкМ. В фазу начала трубкования провели уборку растений ячменя и отбор почвенных образцов, для определения основных ростовых показателей.

В сухой растительной массе определяли зольность, калий, натрий и содержание общего азота. Для определения содержания хлорофилла и каротиноидов использовали флаговый лист. Химические анализы проводили в соответствии с общепринятыми методами анализа растений и почв.

В результате выполненных исследований по фитотестированию (усредняя варианты по всем культурам) установлено, что для однодольных культур (ячмень, овес, пшеница) наибольшая активность проявляется в вариантах с наименьшими концентрациями КК (10мкМ и 25мкМ), тогда как более высокие концентрации КК (50мкМ и 100мкМ) существенно снижают все тест-показатели (фитоэффект, энергия прорастания). Подобная зависимость установлена и при испытании разных концентраций КК на двудольных тест-растениях (редис, маш).

По результатам всех экспериментов показано, что кофейная кислота не оказывает достоверного стимулирующего действия. Ингибирующее действие КК проявлялось по показателю всхожести/прорастания семян, и лишь прорастание однодольных культур при действии минимальной концентрации КК (10мкМ) достоверно не отличалось от контроля. Достоверная ингибирующая активность проявляется в вариантах с концентрацией КК 100 – 50 мкМ по всем исследуемым тест-показателям и при снижении концентрации до 10мкМ этот эффект снижается. На рисунке продемонстрировано увеличение ингибирующего эффекта по результатам расчета индекса жизнеспособности (ИЖ) (произведение энергии прорастания на сумму средних длин корней и побегов проростков) в зависимости от испытываемой концентрации КК.

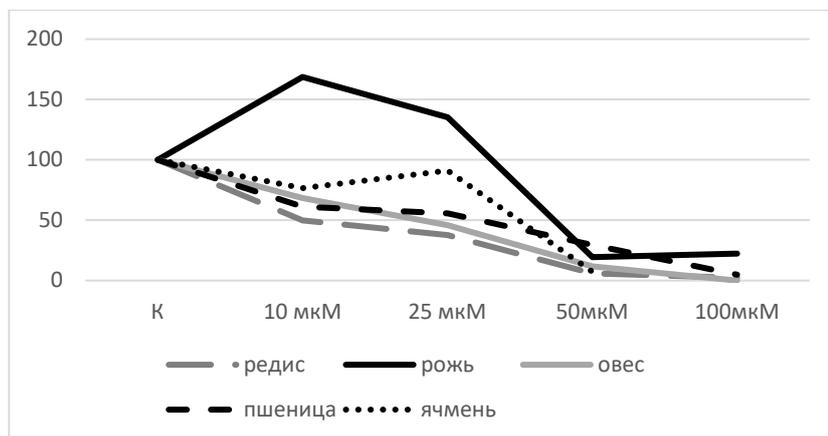


Рисунок. Влияние разных концентраций кофейной кислоты на ИЖ (%) тест-культур. Согласно характеристике почвенных образцов, отобранных, после завершения вегетационного опыта, нами был создан высокий уровень хлоридно-натриевого засоления (1,23 -1,37 г/кг).

Фолиарная обработка растений КК не привела к значимым изменениям показателей, отражающих засоление почвы. В вариантах с КК, но без дополнительного внесения NaCl прослеживается некоторое снижение в почве калия и натрия, но зависимость от испытуемых концентраций отсутствует. Тогда как на фоне NaCl происходит незначительное повышение в почве содержания калия, причем с увеличением концентрации КК содержание увеличивается. На фоне засоления содержание натрия с применением КК ниже, чем на варианте сравнения с NaCl.

Присутствие высокой концентрации соли в почве негативно повлияло на биомассу растений. Общая масса растений в расчете на сосуд достоверно снизилась с 1,25г до 0,25г. Применение КК не сопровождалось достоверными изменениями по массе ячменя в вариантах без применения NaCl. Можно отметить лишь тенденцию к увеличению (11%) в минимальной концентрации (10 мкМ). В условиях засоления достоверно действующей концентрацией КК оказалась максимальная испытуемая величина (100 мкМ).

В условиях засоления из-за высокого поглощения токсичных ионов (Na^+ и Cl^-) происходит изменение физиологических процессов в растении. Накопление избыточных токсичных ионов приводит к выработке активных форм кислорода (АФК), которые нарушают жизненно важные метаболические процессы, включая фотосинтез. В связи с этим в растительных образцах определяли содержание пигментов. Содержание хлорофилла (*a* и *b*) в контрольном варианте (1,83 мг/г) было существенно ниже по сравнению с их содержанием в листьях растений, которые были обработаны КК, не зависимо от её используемой концентрации (4,03 мг/г, что соответствовало концентрации 10мкМ и 3,14 мг/г – 100мкМ). На фоне NaCl содержание суммы хлорофиллов снизилось до 0,24 мг/г, а при обработке растений КК увеличилось от 1,26 мг/г при низкой концентрации (10мкМ) и до 2,14 мг/г при высокой (100мкМ). Содержание каротиноидов было низким как на абсолютном контроле (0,22 мг/г), так и при засолении (0,16 мг/г), однако использование КК в концентрации 100мкМ сопровождалось их увеличением до 0,61 и 0,38 мг/г соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование КК для обработки растений в период вегетации в условиях солевого стресса оправдано и способствует формированию растений в период вегетации за счет улучшения процесса фотосинтеза.

УДК 631.811.982

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ НА ПОСЕВАХ ЦИКОРИЯ КОРНЕВОГО В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Астайкина А.А., Еланский С.Н., Кубарев Е.Н., Николаев А.В., Чудинова Е.М., Шоба С.А.

Цикорий корневой является высокоценной сельскохозяйственной культурой благодаря наличию уникального углеводного комплекса высокополимерных соединений на основе фруктозы и олигосахаров, где основным углеводный компонент инулин. В настоящий момент в странах СНГ цикорий почти не выращивается, а импортируется в основном из Индии, Бельгии и Франции. Как отмечают многие отечественные ученые, возможными причинами пониженного интереса сельхозпроизводителей к выращиванию цикория являются отсутствие доступных средств химической защиты растений и высокая доля ручного труда при возделывании и уборке. Цель исследования – оценить эффективность и безопасность применения гербицидов, разрешенных к применению на посевах сои, подсолнечника, картофеля, томатов и сахарной свеклы, на посевах цикория корневого. Для полевого эксперимента были выбраны галоксифоп-Р-метил, имазамокс, имазетапир, флуазифоп-П-бутил, десмедифам и фенмедифам, римсульфурон, метрибузин в составе 7 препаратов: Зеллек-супер, КЭ, Парадокс, ВРК, Зета, ВРК, Фюзилад Форте, КЭ, Бетанал 22, КЭ, Титус, СТС, Зенкор ультра, КС.. Гербициды были отобраны на основе: 1) предыдущих исследований в США, ЕС и Южной Африке; 2) спектра контролируемых сорняков; 3) вероятности повреждения культуры. В работе учитывались следующие показатели: высота растений - по листу максимальной длины; количество листьев - все листья, живые и отмершие на растении; длина, вес, объем корнеплодов после уборки.

По результатам первого учета на делянках, обработанных гербицидами, высота растений цикория была меньше, чем в контроле без ручной прополки сорных растений. Второй учет показал, что в контроле и в вариантах с гербицидами Бетанал 22, Зеллек Супер, Парадокс и Фюзилад Форте высота цикория составила в среднем 50 см (рис.1). На делянках, обработанных Гербициды Зенкор ультра и Титус, высота растений цикория была минимальной (29 и 32 см в первом учете).

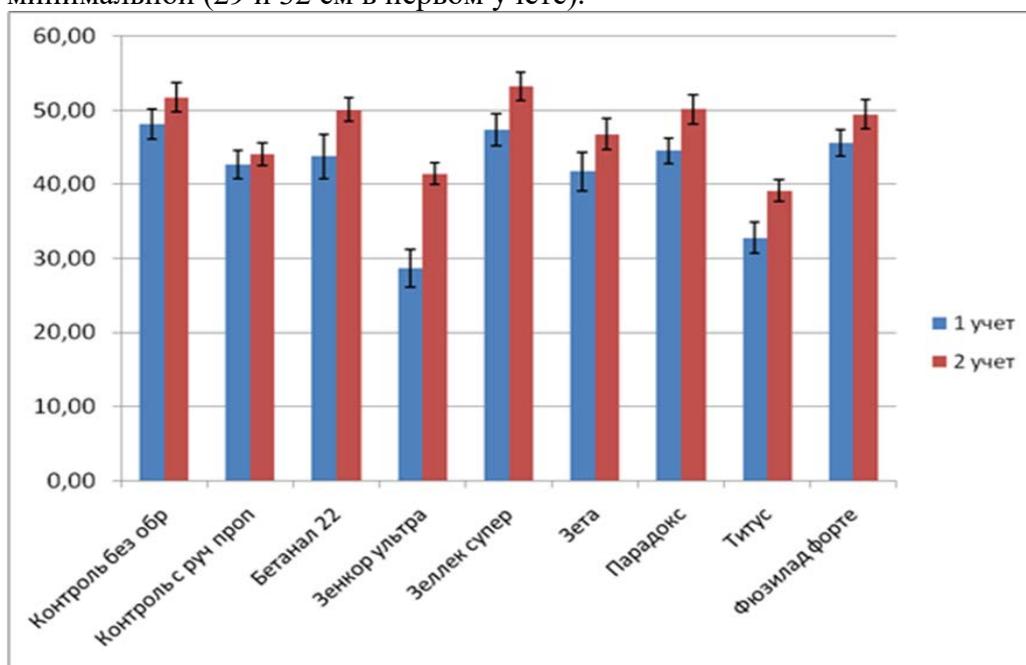


Рисунок 1 – Высота растений цикория (см).

По результатам двух учетов можно отметить, что наибольшей эффективностью отличались препараты Зета, ВРК (100 г/л имазетапира) и Парадокс, ВРК (120 г/л имазамокса). Менее эффективным показал себя Бетанал 22, КЭ (160 г/л десмедифама + 160 г/л фенмедифама) и Зенкор Ультра. Препараты Зеллек-супер, КЭ (104 г/л галоксифоп-Р-метила) и Фюзилад Форте, КЭ (150 г/л Флуазифоп-П-бутила) не оказали заметного влияния на изучаемые

сорные растения. Гербицид Титус был эффективен по результатам первого учёта, средняя высота сорняка мари белой составила 46 см, однако во втором учете высота сорного растения составила 63 см. Максимальный вес корнеплода цикория составил 160 г в варианте с ручной прополкой сорных растений. В целом на делянках, обработанных гербицидами, по сравнению с контрольным вариантом без удаления сорняков, средний вес корнеплода оказался выше, за исключением варианта с гербицидом Титус (средний вес одного корнеплода составил 61 г).

На делянках Контроль без обработок, Зеллек и Фюзилад форте отмечено активное развитие и большая высота сорняков (рис. 2). Листья цикория тонкие, очень вытянутые, их число меньше по сравнению с другими делянками.



Рисунок 2 - Результаты полевого эксперимента с гербицидами.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами предыдущих исследований. Collins J. с соавторами показал в полевом эксперименте в Австралии угнетение двудольных сорняков и однодольного сорняка семейства осоковые вида Сыть круглая (лат. *Suregus rotundus*) при обработке имазетапиром в нормах 200 мл/га и 400 мл/га, примененном в фазу 2-х листьев развития цикория и не более 3-х листьев развития двудольных сорных растений. По данным другого полевого эксперимента, проведенного в США, было получено, что имазамокс, форамсульфурон, тифенсульфурон, трифлусульфурон и флуметсулам не вызывали снижения густоты посевов цикория. При этом Имазамокс уничтожил более 70 % мари белой и более 95 % сорняков других видов. (Wilson R.G и др., 2007).

Таким образом, проведенные исследования позволили определить из семи гербицидов, широко применяемых в РФ для защиты сои, подсолнечника, томатов, картофеля и свеклы, наиболее эффективные и безопасные для защиты посевов цикория. Гербициды имазетапир и имазамокс в препаратах Зета, ВРК и Парадокс, ВРК с учетом исследованного регламента применения (вносимая доза препарата, фаза развития защищаемой культуры, фаза роста сорняков) оказались эффективными и безопасными, так как гербициды не аккумулируются в корнеплодах цикория и не вызывают повреждения культуры. Препараты на основе имазетапира и имазамокса могут быть использованы сельхозтоваропроизводителями на посевах цикория корневого для борьбы с такими двудольными сорняками, как марь белая (*Chenopodium album*), ярутка полевая (*Thlaspi arvense*), осот (*Sónchus spp.*). Для борьбы со злаковыми сорняками можно рекомендовать препараты Фюзилад форте и Зеллек. Препараты Зенкор ультра и Титус обжигают растения цикория и негативно воздействуют на их рост после обработки. Бетанал 22 также обжигает культурные растения, но растения после его применения быстро восстанавливаются. Однако в небольших дозах малоэффективен, а в

высоких дозах сильно обжигает цикорий. Поэтому не рекомендован для применения на цикории.

Список литературы:

1. Collins J. Chicory herbicide trial: final report 2212. – 2002.
2. Wilson, R. G., Desprez, B., & Edwards, M. T. (2007). Identifying the Best Sulfonylurea Herbicide for Weed Control and Crop Tolerance in Sulfonylurea-resistant Chicory (*Cichorium Intybus*). *Weed Technology*, 21(2), 537–541. doi:10.1614/wt-06-088.1

УДК 631.46

ПОЧВЫ И ТРАНСФОРМАЦИЯ В НИХ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Байбеков Р.Ф.¹, Белопухов С.Л.²

¹АНО «АИЦ» Агрехимический инновационный центр, Москва, e-mail: rbaibekov@bk.ru;

²РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, e-mail: sbelopuhov@rgau-msha.ru

Экологическая ситуация в аграрных, степных и пойменных ландшафтах во многих регионах страны, например, Среднего Поволжья, Республики Крым в настоящее время является достаточно напряженной. Этому способствуют нестабильные агроклиматические условия последних лет и даже десятилетий, которые приводят к засухе и крупным пожарам 2010-2022 гг., гибели многих фаций березняков, ельников, лугового разнотравья на плакоре и в посадках лесополос. Все это приводит к изменению физико-химических характеристик и химического состава почв. На фоне аридизации климата, атмосферных засух и аномально жаркой погоды существенно изменяются химические и физико-химические свойства почв, химический состав почвенного раствора и органического вещества, окислительно-восстановительного и электрокинетического потенциала, особенно после масштабных пожаров. Проведенные нами исследования показали, что недостаточно полно изучено влияние слабозасоленных пород на процессы эволюции черноземов, гумусовых веществ в ландшафтах Среднего Поволжья и Крыма. В то же время локальное засоление и деградация черноземов возможны после пожаров при формировании на поверхности почв слоя золы и обуглившегося органического вещества. При аридизации климата и локальном опустынивании лесостепных ландшафтов по результатам химического анализа черноземов отмечено их засоление и осолонцевание. В модельных опытах изучено влияние ионов натрия из золы растений, которая образуется после палов и пожаров, на щелочной гидролиз гумусовых веществ. Отмечена активная стадия мобилизации в раствор и водная миграция гуматов и фульватов натрия из образца чернозема выщелоченного в слое кварцевого песка. После подкисления элюата до pH=1,5 отмечено осаждение нативных гуминовых кислот, что может служить еще одним способом выделения в природе из черноземов препаратов гуминовых кислот и фульвокислот вместо специальной обработки образцов почвы раствором щелочи. Отмечено, что при фильтрации в почве новых щелочных растворов, как это происходит в реальных природных условиях в период дождей, в гумусовом горизонте чернозема катионы Na⁺ замещают обменно-поглощенные катионы двухвалентных металлов Ca²⁺ и Mg²⁺. Гумусовые вещества при этом теряют устойчивость и гидрофилизуются. Гуматы кальция трансформируются в низкомолекулярные гидрозоли гуматов и фульватов натрия. Их структура становится более простой, появляются мономерные фрагменты, которые мигрируют по профилю сверху вниз в черноземе в форме натриевых солей в сезон дождей, пока не достигнут карбонатно-кальциевого барьера миграции или осадков гидроксида Fe (III) в древнем аллювии, где и выпадают в осадок. Скорость массопереноса высокая. Эффект действия кислой среды объясняется тем, что катионы водорода в виде H₃O⁺ вытесняют катионы металлов, что приводит к освобождению карбоксильных и фенолгидроксильных групп от катионов, а в растворе накапливаются нативные фульвокислоты (ФК), органические кислоты, полифенолы и минеральные соли. Наличие таких компонентов определяли методом БИК-, ИК-спектроскопии, атомной адсорбции.

Простые органические вещества относятся к продуктам кислотного гидролиза гумусовых веществ почвы. В последующем была проведена очистка препаратов фульвокислот от солей и органических веществ методом гелевой хроматографии в колонках, колоночной сорбционной хроматографии на активированном угле «карболен». Показано, что гумусовые вещества и минералы горизонта А₁ испытывают восходящее воздействие водорастворимых солей из засоленной породы, залегающей на глубине 65-85 см, и нисходящее – растворов щелочей, в частности, NaOH, KOH, Ca(OH)₂ – из золы степных растений, локализованных на поверхности черноземов. В таких разнонаправленных потоках веществ происходит и ионный обмен. При этом двусторонние восходящие и нисходящие потоки приводят к тому, что влияние щелочных катионов интенсифицирует щелочной гидролиз минералов, прежде всего, иллювиального горизонта.

УДК 631.452

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОДОРОДИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Балабанова Н.Ф.¹, Воронкова Н.А.¹, Азаренко Ю.А.², Волкова В.А.¹, Кемеров А.А.¹

¹ ФГБНУ «Омский АНЦ», Омск, natascha.balabanowa@mail.ru;

² Омский государственный аграрный университет, Омск, yua.azarenko@omgau.org

Удобрения в современной земледелии являются одним из важных факторов интенсификации сельскохозяйственного производства, повышения продуктивности культур и улучшения баланса биофильных элементов в агроценозах. В условиях длительного применения различных систем удобрения большое практическое и теоретическое значение приобретает информация о качественных и количественных изменениях свойств разных типов пахотных почв, полученная в длительных стационарных полевых опытах. В связи с тем, что основу пахотного фонда почв Омской области составляют агрочерноземы, целью исследования являлась оценка влияния систематического применения минеральных удобрений на показатели их плодородия.

Исследования проводили в опытах лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омского АНЦ» (южная лесостепь Западной Сибири). Почвенный покров опытных участков представлен агрочерноземами квазиглееватыми среднепахотными маломощными и среднемощными суглинистыми. В 1988 г. был заложен опыт на основе шестипольного зернотравяного севооборота с чередованием культур: люцерна 3-х лет использования - яровая пшеница - яровая пшеница - овес. Схема опыта включала варианты: 1. Без удобрений; 2. N₁₀P₁₇; 3. N₁₅P₂₃ (дозы удобрений на 1 га севооборотной площади). Применяли аммиачную селитру и аммофос. Исходное содержание гумуса в слое 0-20 см составляло 6,4-6,6% (по Тюрину), подвижного фосфора и обменного калия, соответственно, 105-128 и 350-420 мг/кг почвы (по Чирикову). Сумма обменных катионов – 32,1 ммоль/100 г почвы, в их составе доля Ca²⁺ – 89%, Mg²⁺ – 11%, Na⁺ менее 1%, pH – 6,6-6,7. Агротехника возделывания культур общепринятая для лесостепной зоны.

Проведенные исследования показали, что за три ротации зернотравяного севооборота содержание гумуса в слое 0-20 см агрочернозема не изменилось. Систематическое применение минеральных удобрений привело к увеличению его количества в почве на 0,16-0,30% при уровне на контроле 6,72% за счет большего количества пожнивно-корневых остатков, поступающих в почву. Увеличение урожайности культур севооборота при улучшении их минерального питания способствовало возрастанию количества мортмассы и содержания углерода в ее составе, которое по фонемам N₁₀P₁₇ и N₁₅P₂₃ составляло 960 и 1095 мг/кг, что на 41 и 61 % превышало значения на контроле. Доля углерода мортмассы от общего содержания органического углерода почвы возросла с 1,74% до 2,40-2,68% при внесении минеральных удобрений. Связь содержания гумуса почвы и количеством мортмассы подтверждена корреляционным анализом (R² = 0,66).

Длительное применение минеральных удобрений оказало стабилизирующее влияние на азотный фонд агрочернозема. Валовое содержание азота в мортмассе составляло 1,58-1,73% и не зависело от дозы удобрений. Однако запасы азота мортмассы в вариантах $N_{10}P_{17}$ и $N_{15}P_{23}$ возросли на 31% и 38% относительно варианта без удобрений. Доля азота мортмассы в общем содержании азота почвы возросла с 23% до 28-29% при внесении минеральных удобрений. В опыте наблюдалась зависимость содержания нитратного азота в слое 0-40 см агрочернозема и азотом мортмассы ($\eta=0,76$).

Систематическое применение фосфорных удобрений существенно повлияло на содержание подвижного фосфора в почве. В течение трех ротаций севооборота запасы подвижной формы элемента в почве увеличились на 108-198 кг/га в сравнении с исходными. В контрольном варианте концентрация фосфора в слое 0-20 см почвы составляла 115 мг/кг, в результате применения удобрений она повысилась на 41-75%. Была установлена сильная зависимость содержания подвижного фосфора в почве от внесенного P_2O_5 удобрений ($r=0,95-0,99$). При длительном применении удобрений были выявлены значительные изменения качественного состава минеральных фосфатов, определенного по Гинзбург-Лебедевой. Установлено существенное увеличение количества активных фосфатов (1-4 группы) и, прежде всего рыхлосвязанных (1-2 группы).

Длительное внесение минеральных удобрений не сопровождалось аккумуляцией тяжелых металлов в пахотном слое агрочернозема. После тридцати лет длительного внесения минеральных удобрений наблюдали снижение в нем валового содержания меди на 9%, цинка – на 25%, марганца – на 2%, никеля – на 7%, свинца – на 22%, как результат выноса микроэлементов растениями с урожаем.

Определение содержания обменно-поглощенных катионов не выявило уменьшение их суммы и изменение соотношения по сравнению с исходным уровнем. В то же время было отмечено снижение величины рН водной суспензии с 6,7-6,8 на контроле до 6,3-6,5 в удобренной почве.

Плодородие агропочв в значительной степени определяют физические свойства, важнейшим из которых является структурное состояние. В опыте, заложенном в 1987 г. на основе пятипольного зернопарового севооборота (пар-яровая пшеница-соя-яровая пшеница-ячмень) в 2022 г. изучали показатели структуры слоя 0-20 см агрочернозема в варианте без удобрений и в варианте с максимальными дозами азотно-фосфорных удобрений ($N_{18}P_{42}$ на 1 га севооборотной площади). Для выявления трансформации физических свойств пахотных почв наблюдения за структурой проводили на залежном участке, находящемся в непосредственной близости от опыта.

Структурно-агрегатный состав гумусового слоя чернозема постагрогенного при полевой влажности был представлен соотношением фракций разного размера: более 10 мм – 13%; 0,25-10 мм – 75%, менее 0,25 мм – 12%. Пахотный слой агрочернозема как в варианте без удобрений, так и при их применении, характеризовался значительным увеличением размеров структурных отдельностей. Содержание глыбистой фракции (крупнее 10 мм) по сравнению с залежью увеличилось в 2,5-2,6 раз. Количество агрономически ценных по размеру агрегатов было меньше, чем на залежи (60-62%), однако свидетельствовало о хорошем состоянии структуры. Доля пылеватой фракции была небольшой: 4-7,6%. Существенных различий структуры почвы под действием удобрений не наблюдалось. Величина коэффициента структурности агропочвы в варианте без удобрений составляла 1,50; в варианте с удобрениями – 1,65, что значительно меньше данного показателя на залежи – 3,4, но указывает на хорошее и отличное структурное состояние. Таким образом, сельскохозяйственное использование, прежде всего обработки почвы, привели к трансформации и укрупнению размеров структурных отдельностей. Средневзвешенный диаметр агрегатов пахотного слоя был максимальным в варианте с применением удобрений (8,7 мм), несколько меньше (8,1 мм) – без удобрений, при этом на залежи показатель составлял 4,2 мм. Существенные различия между залежной и пахотной почвами

наблюдались по водопрочности макроагрегатов размером 3-5 мм, определенной по П.И. Андрианову. Длительное сельскохозяйственное использование привело к уменьшению количества водоустойчивых агрегатов: 16,7% на контроле, 26,7% - в варианте с удобрениями. Залежное состояние способствовало восстановлению и повышению водопрочности структурных отдельностей чернозема постагрогенного до 69-85%. Таким образом, длительное применение минеральных удобрений в системе севооборотов оказало положительное влияние на состояние органического вещества и режим элементов питания агрочерноземов, сохранение удовлетворительного структурного состояния. В целом, применяемая система удобрения обеспечивает стабильность урожаев сельскохозяйственных культур и воспроизводство отдельных элементов плодородия агрочерноземов.

УДК: 631.4

ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ВНЕСЕНИИ ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ NO-TILL

Бирюкова О. А., Ерин В. А., Илюшечкин В. А., Казеев К. Ш., Мокриков Г. В.
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, olga_alexan@mail.ru

Гарантированное обеспечение население страны собственными качественными продуктами питания является ключевыми задачами продовольственной безопасности страны и в значительной степени зависят от состояния и плодородия почв.

В условиях европейской части юга России преобладание традиционных технологий выращивания сельскохозяйственных культур не дает возможности поддерживать устойчивое развитие агроценозов в связи с интенсивным развитием процессов деградации почв. В регионах с недостаточным увлажнением одной из главных причин низкой продуктивности агроэкосистем остается высокая зависимость сельскохозяйственного производства от климатических условий. Поэтому одной из основных задач стабилизации сельского хозяйства является внедрение почвозащитных ресурсосберегающих технологий, в том числе и технологии No-till.

Исследования проводили на базе ИП Мокриков В.И. Октябрьского района Ростовской области. Преобладающими почвами на этой территории является черноземы обыкновенные карбонатные различной мощности и степени эродированности. Исследуемая почва – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Поля указанного хозяйства обрабатываются в течение 15 лет по технологии No-till. Полевые опыты заложены по методике Б. А. Доспехова методом организованных повторений. В опыте использовали удобрения ЖКУ 11:37:0 и КАС-32 в дозах 50 и 100 л/га. В пересчете на действующее вещество схема опыта имеет следующий вид: 1) контроль (б/у), 2) ЖКУ (N8P26), 3) КАС (N21), 4) ЖКУ+КАС (N29P26), 5) ЖКУ (N15P52), 6) КАС (N42), 7) ЖКУ+КАС(N57P52). Удобрения вносили при посеве.

Установлено, что применение минеральных удобрений (КАС, ЖКУ) при выращивании гороха и нута в системе No-till улучшает пищевой режим чернозема обыкновенного, что подтверждается увеличением содержания минерального азота и подвижного фосфора. Содержание обменного калия при внесении удобрений несколько уменьшалось. Возможно, это связано с усилением поглощения обменного калия при формировании большей вегетативной массы зернобобовых культур под влиянием ЖКУ и КАС.

Благоприятные условия пищевого режима почвы на удобренных вариантах отмечались в течение всего периода вегетации гороха и нута, что свидетельствует о пролонгированном характере действия ЖКУ и КАС.

Интенсивность процессов трансформации основных элементов питания (NPK) в черноземе обыкновенном карбонатном зависит от вида, дозы жидких минеральных удобрений, биологических особенностей зернобобовых культур и фазы их развития.

Наибольшее влияние на процессы нитрификации и аммонификации в почве оказывает совместное использование КАС и ЖКУ в дозе 100 л/га. Существенные изменения фосфатного уровня почвы выявлены при внесении ЖКУ и ЖКУ с КАС по 100 л/га. Выявлена дифференциация содержания элементов минерального питания по слоям почвы 0–10 и 10–20 см.

Увеличение уровня минерального питания при внесении жидких минеральных удобрений способствовало повышению содержания азота, фосфора, калия, как в надземной части растений (листья, стебель), так и в зерне. Максимальная концентрация элементов питания в растениях нута и гороха отмечалась при внесении КАС и КАС с ЖКУ в дозе 100 л/га. Согласно полученным данным, применение жидких минеральных удобрений (ЖКУ и КАС) не способствуют существенному увеличению подвижности биомикроэлементов в черноземе обыкновенном карбонатном. Содержание доступных для растений соединений цинка и меди в почве исследуемых агроценозов – низкое, что свидетельствует о необходимости применения соответствующих микроудобрений.

Эффективность КАС и ЖКУ в посевах зернобобовых культур была неодинаковой. Прибавка урожая зерна гороха от применения удобрений составила от 4,0 до 16,0 %, а нута - от 20,0 до 32,0 % относительно контроля. Увеличение доз ЖКУ и КАС до 100 л/га в посевах зернобобовых культур нецелесообразно.

Исследование выполнено при поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории в рамках межрегионального НОЦ Юга России (FENW–2024–0001).

УДК 631.821.1:631.51.01

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ВОПРОСА ИЗВЕСТКОВАНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕ С НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Борисычев И.А.¹, Титова В.И.²

¹Центр агрохимической службы «Нижегородский», Нижний Новгород,
ivan_borisychev@mail.ru

²Нижегородский государственный агротехнологический университет, Нижний Новгород,
titovavi@yandex.ru

Сельхозтоваропроизводители постоянно ищут пути снижения ресурсозатрат, улучшения качества и валовых сборов продукции, а также сохранения и воспроизводства плодородия почв. Один из путей минимализации расхода ресурсов – это сберегающие системы земледелия, например, NO-TILL.

Сбережение ресурсов заключается в экономии горючесмазочных материалов, удобрений, трудовых затрат, времени, запасных частей, снижении амортизационных расходов. Данная система способствует сохранению и восстановлению плодородного слоя почвы, улучшению его агрохимических, агрофизических и биологических свойств, а также увеличению содержания органического вещества в почве. Применение NO-TILL снижает риск возникновения и прогрессирования эрозии и дефляции почв, повышает увлажненность почвы за счет более полного накопления и задержания влаги в почве. Это позволяет урожайности быть менее зависимой от погодных условий, особенно в зоне недостаточного увлажнения, что способствует повышению качества и количества продукции с каждого гектара. Есть возможность экологического управления сорным компонентом в посевах. В итоге повышается рентабельность производства.

Однако, как и в любой системе земледелия, в системе NO-TILL есть свои плюсы и минусы. К плюсам можно отнести энергоресурсосбережение, экономичность, защиту почвы от деградации, снегозадержание и накопление влаги, уменьшение темпов минерализации органического вещества и потерь минерального азота, мульчирование почвы, оструктуривание профиля почвы. Неоспоримыми минусами являются ухудшение

фитосанитарного состояния почвы и посевов, особенно в первые 5 лет при переходе к данной технологии, что влечет за собою обязательность комплексного и интегрированного применения пестицидов. Нередки при этом переуплотнение почв и физическая неоднородность пахотного слоя почвы. Из агрохимических проблем, возникающих при введении нулевой технологии обработки почвы, отмечены усиление дефицита минерального азота, ограничения по использованию органических удобрений и мелиорантов, связанные с их внесением в почву.

Цель данного исследования – оценка возможности использования доломитовой муки для снижения кислотности почвы при ее заделке в почву тяжелой дисковой бороной.

Исследование проведено в одном из хозяйств Нижегородской области, где применяется нулевая технология обработки почвы. Известкование проводилось весной 2017 года по перевалочной технологии: «карьер – транспортное средство – поле – разбрасыватель». Для внесения слабопылящих известковых материалов в хозяйстве применяют разбрасыватели центробежного типа тракторные (GDK 8000-Т) и трактор CASE Puma-155.

В качестве известковых материалов использовали доломитовую муку с АДВ 73%, Ягубовского карьера, расположенного на юго-восточной окраине села Ягубовка Бутурлинского района Нижегородской области (Ягубовское месторождение карбонатных пород). Доза известкового материала рассчитана по обменной кислотности, свойственной разным паспортизируемым участкам, и составила 7,3-9,0 т/га. Почва чернозем оподзоленный глинистый. Мелиорант внесен до посева яровой пшеницы, на глубину до 15 см. В дальнейшем система обработки почвы в полях, взятых для исследования, соответствовала основным позициям технологии NO-TILL, используемым в хозяйстве.

До проведения известкования (2017 г.) и через 6 лет после известкования (весна 2023 г.) были отобраны почвенные образцы для анализа на определение рН солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85). В августе 2016 года образцы отбирали по ГОСТ № 28168-89, в мае 2023 года – по ГОСТ Р 58595-2019. Площадь участков и общее количество образцов по каждому участку отражены в таблице.

Влияние доломитовой муки на рН_{кcl} чернозема выщелоченного при заделке её тяжелой бороной в технологии no-till

Номер участка	Площадь, га	Количество образцов, шт	2016 г.			2023 г.		
			рН _{кcl}		Доза мелиоранта, т/га	рН _{кcl}		
			интервал колебаний	среднее значение		интервал колебаний	среднее значение	
34	24,6	4	4,8 – 5,5	5,2 _{+0,6}	7,3	4,7 – 5,2	4,9 _{+0,4}	
45	72,0	8	4,7 – 5,5	5,1 _{+0,7}	7,3	4,9 – 5,3	5,0 _{+0,4}	
49	77,0	9	4,7 – 5,2	4,9 _{+0,4}	9,0	4,7 – 5,1	4,9 _{+0,3}	

Рассматривая данные таблицы, можно сделать вывод о том, что в условиях обработки почвы по нулевой технологии снижения обменной кислотности почвы достичь не удастся, о чем свидетельствуют результаты анализа почвы на участках 45 и 49. Более того, почва участка 34 спустя 6 лет после проведения известкования на 0,3 единицы рН стала кислее. Повышенная доза агромелиоранта на участке 49 и в целом увеличение антропогенной нагрузки на почву на фоне минимальной обработки и отсутствия перемешивания почвенных масс с массой доломитовой муки не изменили рН солевой вытяжки, что, вероятнее всего, отрицательно скажется на выращиваемых культурах.

Заключение. Для достижения максимального эффекта от известкования при нулевых технологиях необходима качественная заделка мелиорантов в почву, в противном случае ожидаемого эффекта от данного агроприема достигнуть невозможно.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-СРЕДНЕПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

Бортник Т.Ю., Карпова А.Ю.

ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ, Ижевск, agrohim@udsau.ru

Дерново-подзолистые почвы составляют основной фонд сельскохозяйственных земель Удмуртской Республики и Среднего Предуралья в целом. В результате интенсивного сельскохозяйственного использования без проведения научно обоснованных мероприятий по воспроизводству плодородия этих почв (в первую очередь, применения известкования и внесения органических и минеральных удобрений) может наступить ухудшение ряда показателей и даже агроистощение, что можно расценить как экологическое преступление в земледелии. Разнообразные агрохимикаты – один из наиболее важных факторов, оказывающий значительное воздействие на весь комплекс свойств почв, в том числе на биологическую составляющую, которая характеризует в целом здоровье почвы. В связи с вышеизложенным большой интерес представляют исследования в длительных опытах с удобрениями, которые входят в Географическую сеть опытов России. Одним из таких опытов является длительный полевой опыт на тему «Влияние систематического внесения различных доз удобрений, их сочетаний и соотношений на продуктивность 4-хпольного севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы» был заложен в 1979 г. сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения Ижевского сельскохозяйственного института. Проводится на опытном поле УНПК «Агротехнопарк» в с. Июльское Воткинского района Удмуртской Республики.

Схема длительного опыта: 1. Без агрохимикатов (контроль); 2. $N_1P_1K_1$; 3. Известь по 1 Нг (фон); 4. Фон + $N_{0,5}P_{0,5}K_{0,5}$; 5. Фон + $N_1P_1K_1$; 6. Фон + $N_1P_1K_1$ + НРК экв. Навозу; 7. Фон + навоз 40 т/га; 8. Фон + навоз 40 т/га + $N_{0,5}P_{0,5}K_{0,5}$; 9. Фон + навоз 40 т/га + $N_1P_1K_1$; 10. Фон + навоз 40 т/га + $N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5}$.

Исследования проводятся в севообороте: викоовсяная смесь – озимая тритикале – картофель – ячмень. В настоящее время идёт XI ротация севооборота. Известь, в дозе, определенной по гидролитической кислотности, внесена в 2021 г. поделяночно вручную согласно схеме опыта под дискование почвы. Подстилочный полуперепревший навоз КРС последний раз вносили в 2015 г. в дозах из расчёта 20 и 40 т/га поделяночно вручную под картофель. Минеральное удобрение (нитроаммофоску) в 2022 г. вносили осенью перед посевом озимой тритикале поделяночно вручную. Дозы внесения минеральных удобрений определены по зональным рекомендациям; средние одинарные дозы за годы проведения длительного опыта составили $N_{56}P_{53}K_{54}$ (кг д.в./га).

Учеты, наблюдения и анализы проводили в соответствии с общепринятыми методиками.

Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на красно-буром опесчанном суглинке. Перед закладкой опыта в 1979 г. имела содержание гумуса 2,15 %; pH_{KCl} 5,25 (слабокислая); S – 10,8 ммоль/100 г почвы; H_T – 2,75 ммоль/100 г; V – 79,7 %; содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O по Кирсанову – 69 и 91 мг/кг почвы соответственно (средняя обеспеченность).

В 2023 г. в течение вегетации растений в полевых условиях было определено выделение почвой углекислого газа – дыхание почвы. Этот показатель относят к интегральным – то есть по его уровню можно ориентировочно сделать заключение в целом о биологической активности почвы. Определение дыхания почвы было проведено в июле, при высоких температурах и достаточном накоплении влаги в почве. В этих благоприятных условиях для деятельности почвенной микрофлоры показатели интенсивности выделения почвой углекислого газа довольно высокие, в пределах 187-230 мг CO_2 / м²/час., и находятся в зависимости от применения различных систем удобрения. Применение минеральных удобрений без известкования не оказало существенного влияния на выделение почвой

углекислого газа. В то же время известкование (вариант 3) привело к заметному увеличению этого показателя относительно контроля без агрохимикатов. На фоне известкования также получено увеличение интенсивности дыхания; так, органоминеральные системы удобрения способствовали наибольшей интенсивности выделения углекислого газа – до 218-230 мг CO₂/ м²/час.

При оценке нитрификационной, аммонификационной, целлюлозолитической активности и деятельности некоторых почвенных ферментов следует отметить, что на контрольном варианте без удобрений все показатели значительно ниже по сравнению с вариантами, где длительно использовались различные системы удобрений. Особенно выделяется органоминеральная система удобрений на фоне известкования с полуторными дозами NPK (вариант 9); очевидно, что при такой системе был создан определённый уровень плодородия, который способствовал наибольшей биологической активности почвенной микрофлоры. Посев почвенных проб на питательные среды (рис. 1) показал существенное влияние известкования на количественный рост микроорганизмов (вариант 3); известкование как фон в сочетании с минеральной (вариант 5) и органоминеральными системами удобрения (варианты 8, 9 и 10) также способствовало увеличению общего количества.

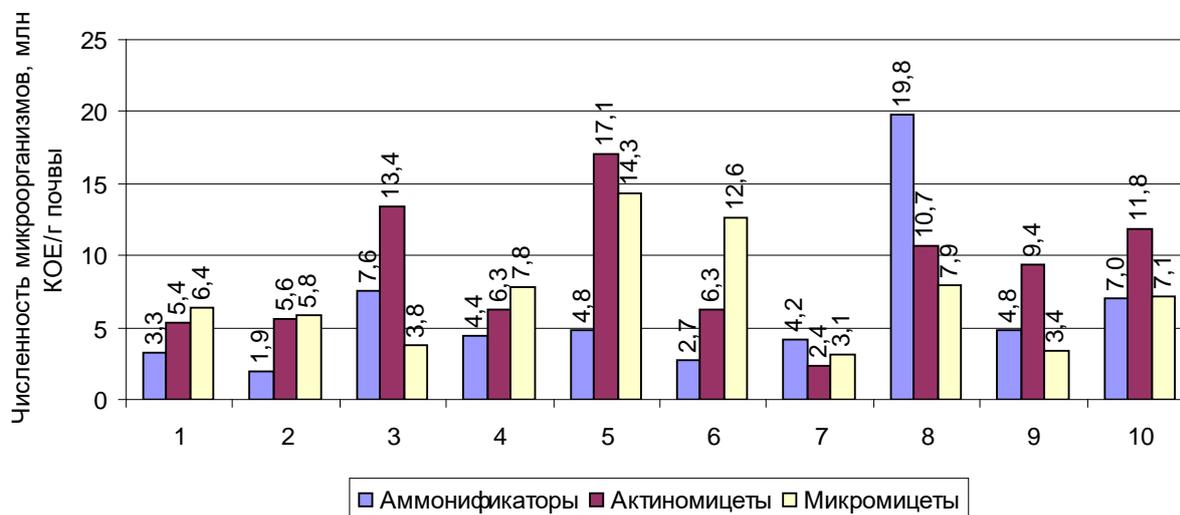


Рисунок 1 – Количественный и качественный состав почвенной микрофлоры при длительном использовании различных систем удобрения (Удмуртская Республика, 2023 г.)

Наибольшая численность актиномицетов и микромицетов относительно контроля без агрохимикатов наблюдается при использовании минеральной системы удобрения на фоне известкования (вариант 5). В то же время органоминеральные системы удобрения, особенно с половинными дозами NPK (вариант 8) привели к выраженному преобладанию бактерий-аммонификаторов.

В целом, рассматривая длительное воздействие систем удобрения в течение 1979-2023 гг. на биологическую активность дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы, следует отметить положительное воздействие на ряд биологических показателей, в том числе на количественный и качественный состав почвенной микрофлоры, органоминеральных систем удобрения, включающих применение подстилочного навоза один раз в течение севооборота в дозе 40 т/га (что соответствует насыщенности 1 га – 10 т/га) на фоне систематического известкования по полной гидролитической кислотности один раз в восемь лет и в сочетании со средними дозами минеральных удобрений N₂₈₋₈₄P₂₇₋₈₁K₂₇₋₈₁ (кг д.в./га).

УДК 631.416.1

КОНЦЕПЦИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВНУТРИПОЧВЕННОЙ

ТРАНСФОРМАЦИИ АЗОТА В КРИОАРИДНЫХ РЕЖИМАХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Будажапов Л.В.

Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Улан-Удэ

nitrolu@mail.ru

Проблема азота всегда была и остается важнейшей в оценке и диагностике плодородия почв. Кривоаридные почвы, в этом понимании, не являются исключением и служат наиболее ярким примером высокой чувствительности на изменение азотного фонда, особенно под нагрузкой внесения азотных удобрений, при тотальном дефиците доступного минерального азота.

По данным многолетних, краткосрочных и модельных опытов с ^{15}N предложена концепция изменения хрупкого азотного статуса кривоаридных почв по скоростным характеристикам внутрипочвенных процессов трансформации азота, которая базируется на фундаментальных законах термодинамики (второй закон) и принципа Ле-Шателье в частном приложении при поступлении извне дополнительных источников энергии в виде азота удобрений (^{15}N). При этом, отклик иммобилизационно-минерализационных процессов трансформации азота в ряду типичных почв аридного (каштановая) и мерзлотного ряда (лугово-черноземная мерзлотная), а равно азотминерализующего потенциала (N_0) и ре-иммобилизации и ре-минерализации азота этих почв, имел выраженный экспоненциальный характер проявлений с различиями в их кинетике, подчиняясь в этой оценке распределению случайных величин кривой Пуассона. В этом смысле, кинетическая концепция оценки азотного статуса аридных и мерзлотных почв, позволяет даже при незначительных изменениях раскрыть чувствительные скоростные параметры и дополнительные индикаторы к характеристикам азотного состояния почв на любой момент времени (t_0). В этом восприятии, подобная кинетическая оценка, в отличие от общепринятых (инкубирование и химическая экстракция почв), значительно совершенствует и расширяет критерии диагностики азотного статуса этих специфических почв с низким и бедным составом при скудном микробном ценозе с ограниченной активностью.

Кинетические различия процессов внутрипочвенной трансформации азота в реализации этой концепции, независимо от плодородия и состояния азотного фонда почв, в этой их оценке определяются различиями кинетических их констант - k , величина которой определяется уравнением экспоненты и всегда будет различной по изучаемым признакам. Именно эти выявленные значения констант (k) для каждого процесса внутрипочвенной трансформации и служат в конечном итоге результирующей функцией в реализации этой концепции. Ранее эти скоростные различия, как правило, отражали априори фактологическую оценку по динамике изменений величин изучаемого признака во времени (сутки, месяц, сезон, год) без выявления кинетических (скоростных) параметров процессов в отсутствии прогнозных их сценариев. В последнем случае, кинетические характеристики (k) позволяют выстроить серию ожидаемых прогнозных версий для разных сценариев под агротехнологической нагрузкой - признаков как расширенная платформа ожидаемого эффекта во времени и пространстве. При этом, незначительные и небольшие изменения в отклике азотного их фонда остаются, как правило, в пределах статистически не значимых величин, но с позиций кинетических (k) проявлений могут представлять приоритетные характеристики, расширяя классические представления. Исследования проводили на типичных почвах кривоаридного ряда Бурятии и Забайкальского края - каштановая в аридных режимах и лугово-черноземная мерзлотная в криолитозоне с применением методов изотопно-меченой индикации. Меченые ^{15}N удобрения вносили весной ежегодно при посеве в виде сульфата аммония (Na) и натриевой (Nc) селитры в две разные повторности опытов по скользящему графику с разным исходным обогащением (32.5...58.8 ат.% ^{15}N). Образцы почв отбирались в динамике каждые 10 дней. Статистический анализ и математическое моделирование проводили по уравнению экспоненты с привлечением пакета стандартным программ Excel 2010. Кинетические изменения оценивали по константам (k). Подобный подход позволил сформировать базу данных и серию прогнозных ожиданий (t_0).

Плодородие почв, в т.ч. состояние азотного их фонда, а также гидротермические ресурсы в их профиле отражали типичную панораму функционирования и соответствовали аридному и мерзлотному режиму с дефицитом увлажнения и потенциалом криогенности 0.00 – 0.00. Отметим ряд ключевых моментов этой оценки. Величина закрепления азота в органическую форму в почвах (иммобилизация азота) в среднем не превышала 41% с широким диапазоном предельных величин при более высокой кинетике процесса в каштановой почве ($k = 0.449$ в сутки). Величина иммобилизации азота удобрений в лугово-черноземной почве определялась значительно выше и достигала в среднем 53.3% при значительно меньшей кинетике процесса – $k = 0.105$ в сутки. При этом, масштаб закрепления азота микрофлорой почв возрастал в направлении увеличения их плодородия с обратной зависимостью по кинетическим усилиям. Подобное поддерживалось принципом Ле-Шателье в частном проявлении. Доказано, высокая величина и кинетика процессов иммобилизации ^{15}N удобрений обеспечивалась высокой активностью микробного пула, в составе которого актиномицеты характеризовались наибольшей кинетической активностью – $k = 0.129$ и $k = 0.165$ в год. Активность грибной микрофлоры в этом процессе практически ничтожна. Высокая активность актиномицетов за доступные источники питания ранее отмечено в работах ряда авторов и связано с тем, что актиномицеты являются представителями К - стратегов, высокая активность которых проявляется именно при дефиците источников питания в отличие от грибов (r - стратеги). Подобное обеспечивает высокую адаптивность и кинетику актиномицетов в этих почвах. Кинетические характеристики процесса иммобилизации азота в этих специфических почвах выступают в качестве новых индикаторов внутрипочвенных превращений азота в системе почва- удобрение- растение и позволяют значительно расширить масштаб проявлений этого ключевого фундаментального явления (депонирование азота). В этом проявлении возрастает не только азотный статус почв, но и общее энергетическое их состояние. Последнее в свою очередь обеспечивает снижение ряда негативных явлений их функционирования. При выраженном дефиците подвижного минерального азота в криоаридных почвах, оценка азотминерализующего эффекта (N_0) выступает одним из индикаторов азотного статуса почв и ближайшего резерва доступного минерального азота. Во всех случаях, независимо от плодородия почв и азотного статуса, активности микробного пула и гидротермического их состояния, масштаб проявлений складывался с различной величиной N_0 и кинетической константой (k , год $^{-1}$) этого процесса по вариантам опыта. Характер отклика по вариантам оценки N_0 подчинялся аналогично характеру активности микробного пула с различиями в величине кинетических констант (k). В этой оценке, для криоаридных почв удалось разделить кинетические различия (усилия) в минерализации органического азота почв на устойчивый (медленнорастворимая фракция) и метаболический (лабильная фракция) пул. Подобное позволяет выявить потенциал пополнения почв доступными формами азота, в тч. с ожидаемым учетом по этим фракциям. Кинетика последних складывалась различно и была повсеместно выше по метаболическому пулу ($k = 0.121 - 0.380$ год $^{-1}$) или по лабильной фракции с меньшими значениями констант (k) при внесении азота удобрений ($k = 0.053 - 0.148$ год $^{-1}$). При этом, на контроле (без удобрений) кинетические усилия (k) по устойчивому и метаболическому пулу складывались выше аналогичных в случае внесения удобрений. Помимо этого, кинетика минерализации устойчивого пула органического почвенного азота отражала чрезвычайно слабую кинетику процесса, особенно в случае внесения удобрений ($k = 0.0009 - 0.008$ год $^{-1}$). Ранее общепризнанная слабая минерализация трудногидролизующих фракций азота криоаридных почв получила кинетическое сопровождение и подтверждение в этой оценке через различия в кинетических (скоростных) проявлениях. В почвах с низким азотным фондом и дефицитом подвижных минеральных форм азота при скудном микробоценозе и жестких гидротермических режимах кинетическая индикация позволяет выявить скоростные изменения внутрипочвенных превращений азота и раскрыть тонкие границы процессов внутрипочвенной трансформации азота в разных скоростных

оценках с построением прогнозных сценариев. Кинетический подход позволяет раскрыть панораму превращений азота в этих почвах в более масштабной версии.

УДК 004.032.26: 631.417

НЕЙРОСЕТЕВОЕ РАНЖИРОВАНИЕ ПОЧВ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ РОССИИ ПО АГРОХИМИЧЕСКОМУ ИНДЕКСУ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И УРОЖАЮ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

Воробьев Н.И.¹, Ладан С.С.², Бондарюк И.Е.³, Завалин А.А.²

¹ФГБНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург

²ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, Москва

³ФГБНУ ЦЦТ АПК, Москва

E-mail: Nik.IvanVorobyov@yandex.ru

Применение нейросетевых алгоритмов значительно расширяет информативность статистической обработки почвенных агрохимических BigData и повышает достоверность оценок плодородия почв и прогнозов урожая сельскохозяйственных культур. Искусственные нейросети незаменимы особенно в тех случаях, когда требуется визуализация неформализуемых зависимостей, таких как зависимость почвенных и растительных характеристик агроэкосистем. Неформализуемость таких зависимостей является следствием стохастического воздействия на растения в период их вегетации множества внешних факторов, обуславливающих широкую вариацию растительных и почвенных характеристик агроэкосистемы. В результате снижается точность регрессионных математических моделей, представляющих эти зависимости.

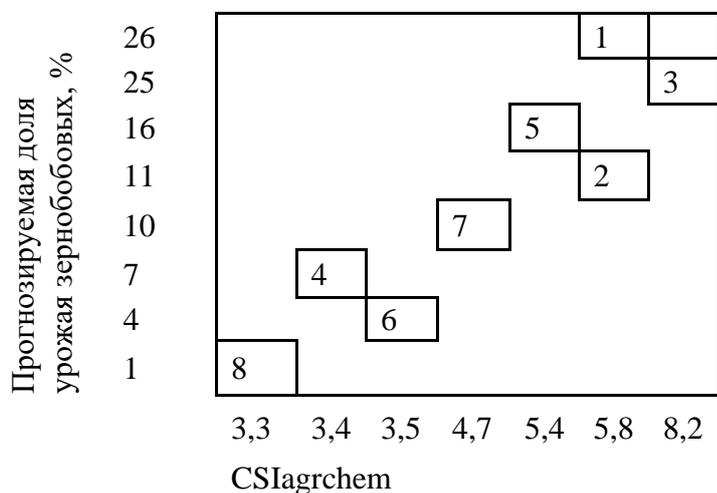
Целью нашего исследования являлось визуализация и анализ с помощью вычислительной нейронной сети SergNN неформализуемой зависимости урожая сельскохозяйственных культур от агрохимических характеристик почв. Нейросеть SergNN использовалась в исследовании в качестве вычислительного функционала, преобразующего агрохимические данные почв в безразмерный индекс CSIagrchem=0...10 (Cognitive Saliency Index of Soil Agrochemical Properties), которому нами, к тому же, были делегированы права количественно представлять плодородие почв. Исходными данными для нейросетевых вычислений послужили относительные площади участков пашен в Федеральных округах РФ, в которых почвенные агрохимические характеристики соответствовали следующим цифровым интервалам: (1) 10 интервалам шкалы содержания гумуса, (2) 6 интервалам шкалы рН KCl-вытяжки, (3) 4 интервалам шкалы рН водной вытяжки, (4) 6 интервалам шкалы содержания подвижного фосфора и (5) 6 интервалам шкалы содержания обменного калия.

Важным этапом моделирования и эксплуатации нейросети SergNN является ее обучение. Обучение нейросети было проведено в форме поиска алгоритма вычисления индекса CSIagrchem, при котором корреляция вычисленного индекса CSIagrchem со статистическим данным урожая зернобобовых культур, выращенным в Федеральных округах РФ в 2023 году, превышает величину 0,7. В результате обучения был найден корректный вычислительный алгоритм нейросети SergNN, который на выходе вычислений дает значения агрохимического индекса плодородия почв CSIagrchem, обладающего высокой степенью коррелированности ($r=0,86$) с урожаями зернобобовых культур.

Полученные пары значений {агрохимический индекс почвенного плодородия CSIagrchem Vs урожай зернобобовых культур} для каждого Федерального округа РФ: (1) Центрального, (2) Северо-Западного, (3) Южного, (4) Северо-Кавказского, (5) Приволжского, (6) Уральского, (7) Сибирского и (8) Дальневосточного – позволили сформировать матрицу ранжирования (табл. 1), в которой порядковые номера Федеральных округов РФ были расставлены в ячейки матрицы с координатами, равными значениям {индекса CSIagrchem Vs урожая зернобобовых культур} для соответствующих округов. В результате, матрицей ранжирования (табл. 1) удалось продемонстрировать прогрессивный монотонно-нарастающий характер

неформализуемой зависимости урожаев зернобобовых культур от плодородия почв и подтвердить очевидное, что урожаи сельскохозяйственных культур возрастают на почвах с высоким плодородием.

Таблица 1. Двумерная матрица ранжирования Федеральных округов РФ, визуализирующая прогрессивный монотонно-нарастающий характер неформализуемой зависимости урожаев зернобобовых культур от агрохимического индекса плодородия почв CSIagrchem



Проведенный нейросетевой анализ (табл. 1) пространственного распределения агрохимических характеристик почв пашен выдвинул на первое место Южный ФО (3), как регион с наибольшим агрохимическим индексом почвенного плодородия CSIagrchem=8,2 и в котором в 2023 году был получен, по понятным причинам, высокий урожай зернобобовых культур (25% от урожая РФ). Следовательно, в будущем в этом регионе ожидаются такие же высокие урожаи зернобобовых культур. На втором месте по нейросетевой оценке расположились Центральный ФО (1), Северо-Западный ФО (2) и Приволжский ФО (5), в которых агрохимический индекс почвенного плодородия плодородие меньше по величине, чем в Южном ФО – CSIagrchem=5,4...5,8, но эти округа могут в сумме дать значительный по объему урожай зернобобовых культур (53% от урожая РФ). Наименьший урожай зернобобовых культур (1%) ожидается получить в Дальневосточном ФО (8), так как в этом регионе агрохимический индекс плодородия почв имеет наименьшую величину CSIagrchem=3,3.

Таким образом, проведенный нейросетевой анализ пространственного распределения агрохимических почвенных характеристик позволил, ограничиваясь только пространственными данным агрохимических характеристик почв пашен, оценить уровень плодородия почв и спрогнозировать ожидаемые урожаи сельскохозяйственных культур. Мы считаем, что в перспективе искусственные нейросети могут занять ведущее место в агрохимических исследованиях почв и классификации почв по прогнозируемым урожаям сельскохозяйственных культур. Нейросети позволят оптимизировать видовую структуру растениеводства в Федеральных округах России и этим повысить эффективность сельскохозяйственного производства в целом по России.

УДК 631.452

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА СВОЙСТВА СТЕПНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮЖНОГО УРАЛА

Галактионова Л.В.

ФГБОУ ВО ОГУ, Оренбург, e-mail: anilova.osu@mail.ru

История земледельческого освоения территории Оренбургского края включает такие страницы истории, как столыпинскую реформу по массовому переселению людей в районы Урала, освоение целинных и залежных земель, активную химизацию сельского хозяйства, а также стихийный вывод из использования значительной площади пашни в 90-е гг.

В настоящее время Оренбуржье является одним из крупнейших аграрных регионов России. Сочетание уникальных природно-климатических условий с почвообразующими породами преимущественно морского происхождения способствовали формированию черноземов, которые занимают около 80% территории. Эти особенности региона сформировали условия, необходимые для возделывания экспортоориентированных сельскохозяйственных культур (твердой и мягкой пшеницы, подсолнечника, зернобобовых и др.). Более 50% территории является распаханной, что считается самым высоким показателем в Поволжье, а площадь высокоплодородной пашни составляет около 360 тыс. га. От плодородия почв Оренбургской области зависит продовольственная безопасность страны. А наметившаяся в последние годы тенденция отказа от севооборотов в пользу монокультуры и интенсивное использование почв пашни привело к развитию ряда деградационных процессов (дегумификации, истощения, обесструктурирования, эрозии, загрязнения и др.). Важным приемом повышения плодородия является внесение органических удобрений, которые оказывают комплексное влияние на свойства почв и урожайность культурных растений.

Целью исследования стала оценка влияния различных видов органических удобрений на агрохимические и биологические свойства степных черноземов Южного Урала.

Объектом исследования выступил чернозем южный террасовый малогумусный среднемощный карбонатный среднесуглинистый на палево-буром карбонатном элювии (Haplic Chernozems Pachic, WRB, 2022). Опытный участок был расположен в 30 км юго-восточнее города Оренбурга. Исследования проводили в 5-польном севообороте: черный пар – яровая пшеница твердая (2 года) – ячмень – подсолнечник. Полевой опыт проводился в 2020-2023 гг с вариантами опыта: фон; внесение вермикомпоста (доза 20 т/га); внесение навоза (доза 20 т/га). Эксперимент заложен методом расщепленных делянок (площадью 100 м²) и систематическим повторением вариантов опыта внутри расщеплений. Внесение удобрений проводили однократно осенью под черный пар. Образцы почвы отбирали согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017 с 3 участков послойно (0-10 см, 10-20 см, 20-30 см, 30-40 см, 40-50 см) после уборки основной культуры. Почву анализировали на содержание элементов минерального питания, органического вещества и его лабильной формы, активности почвенных ферментов стандартными методами. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием пакета программ Statistica 10.0, различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Изучение содержания элементов минерального питания растений показало, что обеспеченность черноземов южных нитратной формой азота характеризовалась как очень низкая (10,9 – 14,9 мг/кг) в фоновом и средняя (24,6 – 27,8 мг/кг) в опытных вариантах, а по подвижной форме фосфора как средняя (25,5 – 27,1 мг/кг) на участке без и повышенная (34,8 – 38,6 мг/кг) на участках внесения мелиорантов. Обеспеченность калием почв пашни характеризовалась как высокая, варьировала от 315,3 до 396,0 мг/кг и не зависела от мелиоративного приема.

Внесение вермикомпоста и навоза вызвало достоверное увеличение содержания гумуса на 16,3 % ($U = 3.1$, при $p = 0,005$) и 11,1 % ($U = 3.2$, $p = 0,005$) соответственно при низком (3,6 %) содержании в почвах фонового участка. Запасы гумуса в слое 0-20 см почв всех вариантов опыта характеризовались как низкие и составили 67,8 т/га в фоновом участке, 80,2 т/га в варианте внесения навоза и 88,7 т/га вермикомпоста. Динамика лабильной формы гумуса также имела устойчивую тенденцию к повышению на опытных участках исследования.

Показатели активности почвенных ферментов проявили высокую чувствительность к внесению удобрений, так во всех опытных участках наблюдается достоверное увеличение (U

= 3.05, $p = 0,005$) активности протеазы в корнеобитаемом слое почвы с максимальным значением на фоне внесения навоза (3,0 мг тирозина на 1 г почвы за 24 часа). Активность уреазы характеризовалась сходной динамикой с наибольшими значениями в вариантах внесения навоза (37,8 мг N-NH₄ г почвы за 4 часа) и вермикомпоста (29,8 мг N-NH₄ г почвы за 4 часа). Минимальные значения показателя (12,5 мг N-NH₄ г почвы за 4 часа) отмечены в почвах контрольного участка.

Показатели активности каталазы и полифенолоксидазы достоверно увеличивались на фоне внесения удобрений почти в 2 раза и принимали максимальные значения (13,9 мл O₂ на 1 г за 1 мин и 1,99 мг 1,4 п-бензохинона на 1 г почвы за 30 минут в слое 0 – 20 см соответственно). Определение показателя активности пероксидазы не выявило его зависимость от варианта опыта с варьированием значений от 0,4 до 1,2 мг 1,4 п-бензохинона на 1 г почвы за 30 минут в слое 0 – 20 см.

Показатели активности ферментов, отвечающих за трансформацию соединений азота в почве, характеризовались наличием достоверной корреляционной связи с содержанием нитратной формы азота ($r = 0,78$ при $p = 0,013$ для протеазы и $r = 0,71$ при $p = 0,028$ для уреазы). А особенностью повышения напряженности биохимических процессов гумусообразования стала достоверная корреляционная зависимость активности каталазы ($r = 0,65$ при $p = 0,01$) и полифенолоксидазы ($r = 0,79$ при $p = 0,031$) с содержанием органического вещества.

На фоне увеличения активности почвенных ферментов, содержания гумуса, минеральных форм азота и фосфора наблюдалось увеличение урожайности яровой пшеницы твердой. Прибавка урожайности в течение 2 лет последствия органических удобрений составила 4,3 и 5,1 ц/га в вариантах внесения навоза и вермикомпоста соответственно.

Таким образом, внесение органических удобрений является эффективным способом улучшения питательного режима, биологической активности и плодородия степных черноземов в условиях многолетнего пахотного использования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-26-10079, <https://rscf.ru/project/23-26-10079/>.

УДК 57.013

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЧАРА ИЗ КУРИНОГО ПОМЕТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Галиева Г.Ш., Курынцева П.А., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю.

Казанский Федеральный Университет, Казань, email goolnaz0708@gmail.com

На сегодня одной из основных проблем сельского хозяйства является истощение почвенного плодородия и следующее за ним снижение урожайности сельскохозяйственных растений. Причинами снижения урожайности являются нарушение агротехнических мероприятий и/или избыточное применение удобрений и средств защиты растений. Поэтому внедрение новых нетрадиционных удобрений и биопрепаратов является актуальной задачей. Одним из перспективных нетрадиционных удобрений является биочар, который получают из различного сырья, чаще всего из отходов типа осадков сточных вод, навозов, пометов, опада листьев и пр. На свойства биочара влияют, как исходной сырье, так и режим пиролиза. В данном исследовании провели оценку влияния температуры пиролиза на физико-химические свойства биочаров, полученных из куриного помета при разных температурах – 300 и 700°C и оценку влияния внесения полученных биочаров на почвенное микробное сообщество при выращивании пшеницы и ячменя. В ходе эксперимента определили, что увеличение температуры пиролиза с 300°C до 700°C привело к увеличению удельной площади поверхности биочара в 15 раз и к снижению содержания азота в 1,4 раза. Внесение обоих видов биочара в почву в дозе 1% привело к значительному увеличению содержания Р_{подв} в

9,5 и 11,5 раз соответственно, тогда как увеличение содержания Нобщ и Кподв оказалось существенно меньшим (в среднем в 1,6 раз). Показано, что внесение биочара обоих типов не привело к изменению в почве количества микромицет и бактерий, оцененных на основе анализа грибных 18S рРНК генов и бактериальных 16S рРНК, а также респираторной и метаболической активности сообществ, установленной с использованием системы Biolog EcoPlate. Анализ растений ячменя и пшеницы выявил, что, во-первых, ячмень оказался более отзывчивым на внесение биочара по сравнению с пшеницей, во-вторых, максимальный эффект на ячмень оказывал биочар, полученный при 700°C, в-третьих, указанный биочар вызывал увеличение биомассы растений ячменя. Скорее всего, разные эффекты биочаров связаны с различной площадью их поверхности, что обеспечивает лучший влагоудерживающий режим почвы, что благоприятно для растений.

Ключевые слова: Биочар, зерновые культуры, почвенные микробные сообщества, респираторная активность, Biolog EcoPlate.

УДК 631.8

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАРБАМИДА И АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО СЕВА ПО ЗОНАМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Капустин С.В., Ермаков В.Н., Бондарь З.И.

ООО «ЭКОНИВА-АПК ХОЛДИНГ», Лиски, zlata.bondar@ekoniva-apk.com

Научные исследования по изучению влияния неоднородности свойств полей на урожайность культур начались задолго до появления понятия «точное земледелие», но с ростом возможностей применения информационных технологий и их доступности данные исследования приобрели особенное значение на пути к достижению продовольственной безопасности РФ.

Точное земледелие (ТЗ) — система сельскохозяйственного мониторинга и управления природно-техногенными системами, основанная на использовании географических информационных систем (ГИС) и сельскохозяйственных машин, способных проводить дифференцированную обработку отдельных участков поля с учетом его неоднородности. В данной работе изучено влияние различных видов азотных удобрений и норм их внесения под кукурузу на зерно при применении технологий дифференцированного сева культуры по зонам потенциальной продуктивности полей.

Исследования, проводившиеся в 2022 году на поле в Лискинском районе Воронежской области, заключались в выявлении оптимальных схем питания кукурузы по урожайности и окупаемости, для выращивания при минимальной обработке с применением технологии дифференцированного сева в хозяйстве ООО «ЭкоНиваАгро-Левобережное». Было выделено 3 зоны потенциальной продуктивности, в соответствии с ними применена технология дифференцированного сева с тремя различными нормами высева семян. На 30 учетных делянках разными способами в разные сроки были внесены различные дозы таких удобрений, как аммиачная селитра и карбамид. Дважды за вегетационный сезон были выполнены работы по анализу почвенных образцов на содержание минеральных форм азота, общего азота в слое почвы 0-40 см. При завершении документирования урожайности проводился статистический анализ полученных результатов.

Сделаны следующие выводы: дробный способ внесения азотных удобрений значимо не отразился на прибавке урожайности вследствие того, что отсутствовали осадки во второй половине вегетации (вторая подкормка не сработала); максимальная окупаемость 1 кг азота удобрений отмечается в зонах низкой продуктивности, что согласуется с представлениями о том, что менее продуктивные почвы более отзывчивы на внесение удобрений, чем более

продуктивные; с увеличением дозы удобрения снижается влияние внутривидовых зон неоднородности на урожайность кукурузы на зерно.

УДК 631.42: 633.9

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ *MISCANTHUS*

Капустянчик С.Ю.¹, Добротворская Н.И.²

¹Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, р.п. Краснообск. E-mail: kapustyanchik@bionet.nsc.ru ;

² ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, E-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

Основным приемом борьбы с засолением почв является применение мелиоративных и агротехнических мероприятий, улучшающих физико-химические, биологические свойства почв. Известно, что злаковые и бобовые соле- и солонцеустойчивые растения способны рассолять засоленные почвы. Основная цель исследования заключалась в изучении средообразующего влияния *Miscanthus sacchariflorus*, относящегося к злаковым растениям. Для осуществления цели был заложен вегетационный опыт. Задачи опыта: изучить особенности развития растений в различных по степени засоления почвах; выявить характер поступления химических элементов в наземную и подземную части растений; установить изменение содержания водорастворимых солей в почве. Наблюдаемые параметры: содержание и состав водорастворимых солей в водной вытяжке, питательных элементов в почве, содержание минеральных элементов (NPK и Na) в надземной и подземной биомассе, биометрические параметры и биомасса растений к концу вегетации. Схема опыта включает в себя 5 вариантов: 1. Лугово-черноземная слабосолонцеватая почва (*GleyicChernozems(Oligeonatric)*) – (контроль); 2. Солонец лугово-черноземный глубокий (*GleyicSolonetz(Humic)*); 3. Солонец лугово-черноземный корковый (*GleyicSolonetz(Ochric,Sodic)*); 4. Аллювиальная слоистая слаборазвитая солончаковая почва (*EpisalicFluvisols(Alcalic,Sodic)*); 5. Лугово-болотная солончаковая почва (*EpisalicMollicGleysols(Alcalic,Sodic)*). Почвы характеризуются существенным различием физико-химических свойств - содержание физической глины в слое 0-20 см меняется от 46 % в лугово-черноземной слабосолонцеватой почве до 80 % в лугово-болотной солончаковой почве; содержание гумуса варьирует от 3 % в аллювиальной слоистой слаборазвитой солончаковой почве до 7 % в лугово-черноземной слабосолонцеватой почве; рН_{вод} изменяется в пределах от 7 в лугово-черноземной слабосолонцеватой почве до 9 в аллювиальной слоистой слаборазвитой солончаковой почве; обменный Na⁺ – от 0,02 в солонце лугово-черноземном глубоком до 6,75 ммоль/100 г почвы в лугово-болотной солончаковой почве.

Изучение реакции *M. sacchariflorus* на почвенное засоление в условиях вегетационного опыта показало, что во всех вариантах почв, кроме солонца глубокого (табл.), после вегетации *Miscanthus* наблюдается снижение величины рН и содержания водорастворимых солей. В частности, отмечено уменьшение содержания ионов хлора на всех вариантах опыта, снижение бикарбонат-ионов в вариантах 2-4. Высокое содержание натрия в вариантах 4 и 5 снизилось к окончанию опыта в 1,5-2,5 раза.

Таблица - Содержание водорастворимых солей в исследуемых почвах

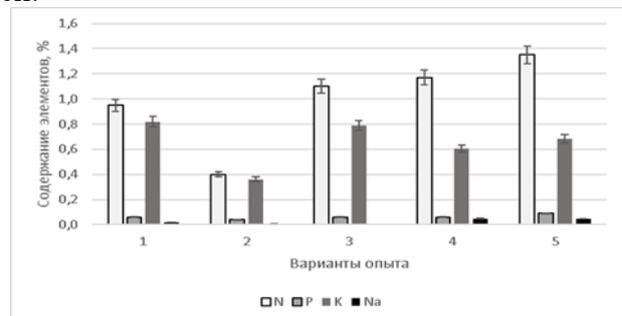
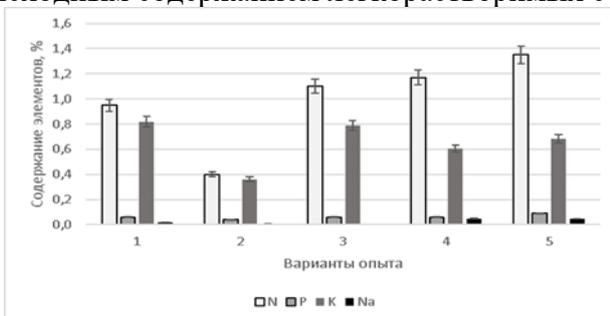
Время отбора образца	рН _{вод}	Сухой остаток, %	Концентрация ионов, ммоль/100 г почвы							Сумма анионов	Сумма катионов
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
Вариант 1 Лугово-черноземная слабосолонцеватая мощная (<i>GleyicChernozems(Oligeonatric)</i>)											
1*	7,00	0,10	–	0,42	0,35	0,56	0,50	1,70	0,07	1,33	2,27
2	7,00	0,05	–	0,50	0,07	1,02	0,67	1,12	0,10	1,59	1,89

Вариант 2 Солонец лугово-черноземный глубокий (<i>GleyicSolonetz(Humic)</i>)											
1	7,15	0,08	–	0,37	0,22	0,76	0,30	0,85	0,16	1,36	1,31
2	6,65	0,15	–	0,02	0,16	1,76	0,70	0,80	0,28	1,95	1,78
Вариант 3 Солонец лугово-черноземный корковый (<i>GleyicSolonetz(Ochric,Sodic)</i>)											
1	8,20	0,30	–	0,81	0,41	1,12	0,67	1,15	1,02	2,35	2,84
2	7,20	0,12	–	0,15	0,26	1,0	0,55	0,97	0,19	1,41	1,71
Вариант 4 Аллювиальная слоистая слаборазвитая солончаковая (<i>EpisalicFluvisols(Alcalic,Sodic)</i>)											
1	9,0	1,46	–	1,62	12,27	6,72	0,55	5,80	13,20	20,61	18,55
2	8,60	0,57	–	0,79	6,14	2,76	0,43	1,55	6,76	9,69	8,74
Вариант 5 Лугово-болотная солончаковая (<i>EpisalicMollicGleysols(Alcalic,Sodic)</i>)											
1	8,87	1,30	–	0,74	7,82	5,08	0,8	4,65	6,71	13,64	12,16
2	8,75	0,51	–	0,74	4,32	2,56	0,42	2,05	4,42	7,62	6,89

*Время отбора образца: 1 - до вегетации *Miscanthus*, 2 - после вегетации *Miscanthus*

В условиях вегетационного опыта снижение содержания солей кроме выноса промывными водами, возможно, связано с выносом минеральных элементов корневой системой растений, о чем свидетельствует накопление натрия в корневищах растений (рисунок). Причем ионов Na^+ в корневищах вариантов 4 и 5 было в среднем в десять раз больше, чем в надземной биомассе. Вероятно, корневая система *Miscanthus* осуществляет барьерные функции относительно проникновения избыточных количеств натрия в надземную часть растений, что позволяет предполагать способность этой культуры к адаптации в засоленных ландшафтах.

В корневищах растений в вариантах с засоленной почвой по сравнению с контрольной лугово-черноземной почвой существенно увеличилось количество азота. Содержание фосфора незначительно снизилось, калия практически не изменилось за исключением варианта 4 с аллювиальной солончаковой почвой, которая характеризуется наибольшим исходным содержанием легкорастворимых солей.



А

Б

Рисунок 1 – Содержание элементов в растениях *M. sacchariflorus*, % от абсолютно сухой массы: а) в подземной биомассе (корни+корневища), б) в надземной биомассе.

В надземной биомассе (листья+стебли) *Miscanthus* при увеличении концентрации солей в субстрате вариантов 3, 4 и 5 наблюдается существенное повышение содержания азота, но почти не меняется содержание фосфора. Содержание калия в вариантах с засоленными почвами достоверно снижается за исключением 3-его варианта (рис. б), причем в надземной биомассе калий накапливался в значительно большей концентрации, чем в корневищах. Наблюдения за биометрическими показателями *M. sacchariflorus* на протяжении всего периода эксперимента показали, что в контрольном варианте с благоприятной лугово-черноземной почвой растения отличались наибольшим количеством и высотой побегов по сравнению с другими вариантами опыта. В вариантах с засолением большинство корневищ не давало побегов в первый месяц вегетации (варианты 2, 4, 5), оставаясь при этом жизнеспособными. Замедленное пробуждение почек и развитие побегов в начальный период вегетации привело к снижению биомассы подземной части растений на 34-65%. Вместе с тем

величина наземной биомассы к концу вегетационного периода, несмотря на исходное высокое содержание водорастворимых солей в почвенном растворе и щелочную реакцию среды, составила 7,3-9,2 г/сосуд, а на контрольном варианте 12,1 г/сосуд. Проверка результатов в полевых условиях в течение ряда лет показала, что биомасса *Miscanthus* на засоленных почвах достигает даже в засушливых метеоусловиях 5 т/га, существенно превышая средние значения продуктивности естественных фитоценозов. При нормальном (многолетнем) уровне увлажнения продуктивность *Miscanthus* достигает 12,6-15,9 т/га, что свидетельствует о высоком адаптивном потенциале культуры. *M. sacchariflorus*, как многолетнее растение, способное произрастать длительное время на малопродуктивных землях, может использоваться как фитомелиорирующая культура наряду с такими известными фитомелиорантами как донник, люцерна, суданская трава.

УДК 631.8

ПРОТЕКТОРНАЯ РОЛЬ ЭКЗОГЕННЫХ АМИНОКИСЛОТ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ КАДМИЕМ

Карпова А. В., Воронина Л.П., Морачевская Е.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, agrosoil@mail.ru

В природных условиях растительные организмы постоянно подвергаются воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Способность растений адаптироваться к экстремальным условиям произрастания, зачастую требует включения дополнительных защитных механизмов, повышающих их устойчивость. В лабораторных экспериментах и в вегетационном опыте нами искусственно был создан стресс, обусловленный высокой концентрацией тяжелых металлов (ТМ) в почве. С этой целью использовали растворимую соль кадмия (нитрат кадмия) и вносили её в почву из расчета 5 мг/кг (подвижная форма), что соответствует превышению действующего ПДК в 5 раз. В качестве исследуемых аминокислот (АК) вегетационном опыте с культурой ячменя сорта Нур использовали пролин (Pro) и метионин (Met). Эндогенная роль данных аминокислот в растении позволяет предположить их активное участие в поддержании защитных функций. Экзогенное использование АК оказывает положительное действие на устойчивость мембран растения, увеличивает активность ферментов антиоксидантной системы и пр. Проявляются и их индивидуальные особенности: так Pro является осмотически активной молекулой, Met, как аминокислота с –SH группой, способен понижать уровень активных форм кислорода. Концентрация используемых АК соответствовала 0,5 г/л (на основе литературных данных), фолиарная обработка проводилась ручным опрыскивателем из расчета 10 мл/сосуд. Вегетационный опыт выполнен в 2023 г в сосудах массой 250 г на торфяном субстрате с содержанием основных питательных элементов, мг/л: NH_4+NO_3 – 195; P_2O_5 – 190; K_2O – 180 и рН – 6,6. Содержание кадмия в почве $7,35\pm 3,68$ мг/кг (результаты ISP анализа). Сбор растительного материала осуществляли в фазу начала колошения. Одновременно анализировали листья и стебли на содержание общего азота (метод Кьельдаля), пигментов (калориметрически) и кадмия (атомно-абсорбционный метод). Увеличение концентрации кадмия в почве привело к его увеличению как в стеблях, так и листьях растений. Содержание кадмия (Cd) в листьях контрольного варианта колебалось от 0,92 до 1,25 мг/кг, с его внесением в почву увеличилось до 2,0 мг/кг и снижалось в вариантах с использованием Pro и Met до 1,205 и 0,755 мг/кг, соответственно. Однако масса растений в условиях стресса не снижалась. На контрольном варианте она соответствовала величинам - 0,77 (лист) и 0,52 мг (стебель) и на варианте с Cd - 1,13 (лист) и 0,78 мг (стебель). Применение АК в вариантах без ТМ положительно отразилось на увеличении массы стебля (Pro - 1,13 и Met 0,78 мг). В условиях стресса масса растений с их использованием снижалась: Pro (лист/стебель - 0,99/0,53 мг) и Met - 0,98/0,56 мг, соответственно) и не

отразилось на массе листа. Стресс привел к достоверным изменениям по содержанию пигментов (хлорофилл *a* и *b*, каротин) в растениях (рисунок).

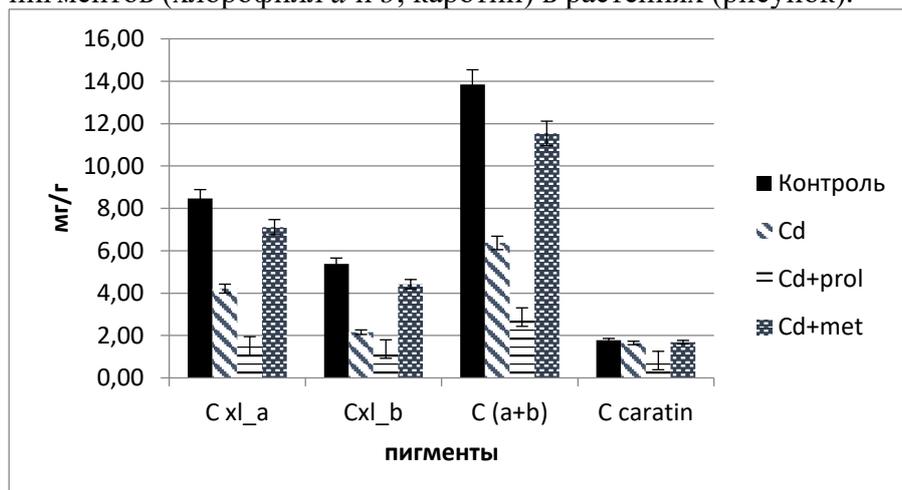


Рисунок. Изменение содержания пигментов в листьях ячменя при внесении кадмия в почву и фолиарной обработке аминокислотами

Известно, что ТМ оказывают неблагоприятное воздействие на рост опосредованно через другие физиологические процессы, в частности фотосинтез. Действие Cd отражалось на достоверном снижении содержания пигментов в листьях ячменя, сравнение же результатов по изменению содержания хлорофиллов в условиях воздействия обоих АК свидетельствует о неоднозначном их действии.

Таким образом, действие Cd не повлияло на изменение биомассы, но проявилось по химическим (концентрация Cd в растении) и биохимическим показателям (содержание пигментов).

УДК 58.084:58.009:674.031.734.2

БАЛАНС ГУМУСА И ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ АГРОЦЕНОЗА ЯБЛОНИ ПРИ БИОЛОГИЗАЦИИ ИНТЕНСИФИКАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Клименко О.Е., Попов А.И., Струченко А.В., Федяхин И.А.

Никитский ботанический сад, Ялта, e-mail: olga.gnbs@mail.ru

Интенсификация садоводства приводит к усилению техногенной и химической нагрузки на агроценоз, загрязнению почвы остатками минеральных удобрений и пестицидов, тяжелыми металлами, уплотнению, дегумификации, снижению биологической активности. Одним из путей преодоления данных проблем в садоводстве является биологизация интенсификационных процессов, направленная на насыщение почвы органическим веществом, применение нулевой обработки почвы и биоудобрений. Все это способно снизить химический прессинг на агроэкосистему, а также дозы минеральных удобрений. Однако для количественного учета содержания элементов питания в агроценозе сада и создания системы удобрений необходимо рассчитать баланс органического вещества и элементов питания. В настоящее время для биологизированных систем садоводства данные исследования малочисленны. Целью работы было рассчитать баланс гумуса и элементов питания в агроценозе сада яблони при задернении почвы смесями злаково-бобовых трав в сочетании с применением биоудобрений для научного обоснования системы удобрений яблони при биологизации. Исследования проводили в 2018-2021 гг. в многолетнем двухфакторном полевом опыте на аллювиальных агротемногумусовых квазиглееватых поверхностотурбированных почвах долины р. Салгир (с. Маленькое, Республика Крым) в саду яблони 2000 г. посадки. Сад интенсивный: схема посадки 4 x 1,25 м, сорт Голден Делишес, подвой М 9. В опыте исследовали 2 фактора: задернение и биопрепараты (БП). В

первом факторе вариантами были: 1) естественное зарастание почвы сеgetальной растительностью (ЕЗ); 2) смесь райграса и люцерны (СТ2); 3) смесь овсяницы луговой и клевера лугового (СТ3); 4) смесь райграса многоцветкового, люцерны посевной, овсяницы луговой, клевера лугового и костреца безостого (СТ4). Варианты биоудобрений: 1) контроль без БП; 2) азотфиксатор (АФ); 3) комплекс биопрепаратов (КБП). Баланс гумуса рассчитывали путем поделяночного ежегодного учета содержания гумуса в почве, используя рекомендации института почвоведения им. Докучаева (1984). Хозяйственный баланс элементов питания (N, P и K) составляли с учетом выноса элементов с урожаем яблоны, а также газообразных потерь, потерь от вымывания и закрепления почвой, а также привносом с растительными остатками трав, принимая в расчет содержание в них элементов питания (Азаров, 2012; Шеуджен, 2016; Минеев и др., 2017). Данные показывают, что за 3 года опыта в контроле по ЕЗ (ЕЗК) произошло снижение содержания гумуса на 2 т/га, что определяется невысоким количеством растительных остатков (8,6 т/га). При применении БП по ЕЗ баланс гумуса был профицитным, однако накопление гумуса было незначительным – 6-9 т/га в 60 см слое почвы. Задержание почвы сеянными смесями трав приводило к положительному, более значительному, чем по ЕЗ, балансу гумуса. Максимальным он был при задержании смесью СТ3 и СТ4 с АФ и достигал 32-41 т/га. При этом именно в этих вариантах обнаружена максимальная биомасса скошенных растительных остатков – 26-30 т/га. Полученные данные позволили рассчитать коэффициент гумификации растительных остатков, который в контроле по ЕЗ составляет 27-35%, что равносильно внесению дозы навоза 24 т/га. Задержание почвы сеянными смесями трав привело к увеличению этого коэффициента до 40-60% на сочетаниях СТ3К, СТ3АФ, СТ4АФ и СТ4КБП. На основании полученных в опыте данных установлена прямая корреляционная зависимость запаса гумуса, от количества скошенных растительных остатков по вариантам опыта при расчете на 1 год задержания при условии, что оно применяется в саду не менее трех лет (рис. 1). Рассчитанное уравнение регрессии позволяет определить баланс гумуса, зная количество скошенных растительных остатков трав.

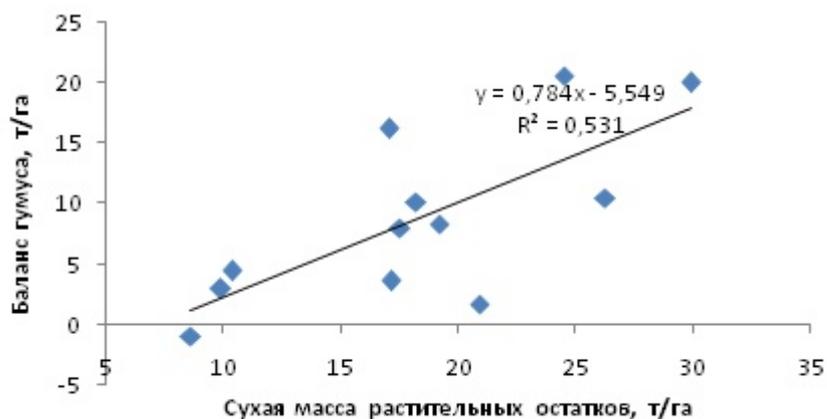


Рис. 1. Зависимость годового баланс гумуса от сухой массы скошенных растительных остатков при задержании почвы в саду яблоны не менее 3 лет

Зависимость показывает, что при массе растительных остатков менее 10 т/га в год, баланс гумуса в луговой аллювиальной легкоглинистой почве будет дефицитным. Достаточное количество растительных остатков для воспроизводства и пополнения запаса гумуса в почве получено на смесях с биомассой 20-30 т/га растительных остатков в год (СТ2 и СТ3 с БП). Баланс азота в агроценозе яблоны в контроле по ЕЗ во все годы был отрицательным с низкой интенсивностью, что связано с малым привносом азота с пожнивно-корневыми остатками трав в варианте с ЕЗ. Следует отметить, что в сочетании с БП его значения были ниже, чем по ЕЗК. Увеличение количества азота в 6-7 раз по сравнению с ЕЗ, привносимое с

растительными остатками сеяных трав, с учетом бобового компонента, приводило к тому, что баланс азота на вариантах смесей СТЗ становился положительным с интенсивностью 181-313%. Наиболее благоприятным он был при сочетании СТЗ с АФ (494 т/га). В годы с урожаем яблони более 30 т/га баланс азота на вариантах с сеяными травами, где урожай повышался по сравнению с ЕЗ на 10-12 т/га, был отрицательным (-55...-80 кг/га), что вызывает необходимость внесения небольших доз азота (50-70 кг/га по д.в.) в начале вегетации при планировании высокого урожая яблони. Баланс фосфора в почве был положительным на вариантах по СТ2 и СТ3 с БП (+12...+18 кг/га P₂O₅) при эффективности 152-180%. И только при урожае более 30 т/га на этих вариантах он был отрицательным (-6...-21 кг/га), что вызывает необходимость внесения минерального фосфора в дозе 20-40 кг/га. Баланс калия в почве был положительным во все годы исследований и во всех вариантах опыта, максимальным – на сочетании СТЗ с АФ – 272 т/га. Интенсивность баланса составила 338%. Следовательно, внесение минерального калия в почву при урожаях яблони 30-40 т/га нецелесообразно.

Таким образом, биологизация интенсификационных процессов в агроценозе сада яблони путем задержания почвы злаково-бобовыми смесями многолетних трав с применением биоудобрений способствовала созданию положительного баланса гумуса в почве при поступлении растительных остатков злаково-бобовых трав, выше 20-30 т/га сухого вещества в год. При биологизации произошло увеличение запасов элементов питания, максимально на сочетании задержания почвы смесью овсяницы луговой и клевера лугового в сочетании с биопрепаратом азотфиксатором. Все это способствовало значительному снижению доз минерального азота и фосфора и исключало внесение калия на аллювиальных легкоглинистых почвах Крыма при урожаях яблони 30-40 т/га.

УДК 631.4

ВНУТРИПОЛЕВАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ, БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Королева П.В., Рухович А.Д.

ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Москва, e-mail: soilmap@yandex.ru

Почвенный покров неоднороден в пространстве. Продуктивность сельскохозяйственных (с.х.) угодий так же неоднородна. Неоднородность может быть выявлена на уровне планеты, физико-географического района, страны, области, административного района, агроландшафта, хозяйства. Для всех этих уровней минимальная единица севооборота (с.х. поле) однородна. Все с.х. рекомендации даются с точностью до поля, хотя почвенное картографирование в масштабе 1 : 10 000 и крупнее может отражать неоднородность самого поля. Но это скорее дополнительная информация, слишком грубая, чтобы иметь практические последствия.

Детальная структура почвенного покрова анализируется в основном на ключевых участках (например, картографирование солонцовых комплексов). Но и эта детальность далее распространяется на всю территорию, как дополнительная характеристика (степень неоднородности).

В то же время накапливается большое количество информации о том, что внутри одного с.х. поля урожайность может колебаться на десятки процентов, а иногда в несколько раз. Конечно, при одномоментном картографировании колебания урожайности могут быть связаны с огрехами агротехники. Накопление мультитимементных рядов наблюдения показывает, что существуют устойчивые во времени и пространстве участки с разной продуктивностью с.х. культур, обусловленной природными характеристиками агроландшафтов (почвенным покровом, гранулометрическим составом, перераспределением влаги и т.д.).

В противовес агротехнической, природную неоднородность продуктивности можно назвать устойчивой внутривидовой неоднородностью (УВПН) плодородия почв.

УВПН фиксируется на основе анализа больших данных, а точнее больших мультитимементных данных, то есть некоторой системы отбора и усреднения наблюдений за десятки лет. Одним из подходов являются методы обработки больших данных дистанционного зондирования (БДДЗ). Действительно данные дистанционного зондирования (ДДЗ) приняли вид больших данных, так как на каждую точку планеты за последние 35 и более лет накоплены тысячи спектральных характеристик. Так, данные Landsat 5, 7, 8, 9 перекрывают временной диапазон с 1984 года по настоящее время, и являются соизмеримыми между собой.

Для каждого с.х. поля можно за 35-37 лет подобрать десятки кадров ДДЗ, пригодных для расчетов вегетационных индексов (ВИ). При различных методах усреднения многолетних рядов ВИ выделяются именно зоны УВПН и строятся карты УВПН. Основная проблема заключается в выборе фрагментов кадров ДДЗ, пригодных для расчетов ВИ. Большинство кадров ДДЗ на с.х. поле содержат облака, сажу, воду, снег, голую почву и многое другое, то есть объекты мешающие вычислению ВИ. Перебрать тысячи сочетаний с.х. поле/кадр ДДЗ даже для одного хозяйства сложно.

Для автоматизации отбора применяют нейронные сети. Нейронная сеть составляет список пригодных для расчетов кадров ДДЗ для каждого с.х. поля. После этого уже строится карта УВПН на все хозяйство.

Наличие карт УВПН позволяет создать карты задания для дифференцированного применения агротехники, в частности дифференцированного внесения удобрений. При подобном подходе для каждой зоны УВПН подбираются дозы удобрений, которые обеспечивают наибольшую экономически оправданную урожайность при сохранении агрохимических показателей (отсутствия агрохимического истощения частей поля). В классическом случае применения карт заданий по картам УВПН из зон пониженного плодородия изымаются избыточные дозы удобрений и переносятся в зоны повышенного плодородия с дефицитом минерального питания. При этом в зоне пониженного плодородия урожайность не меняется, а в зоне повышенного плодородия растет. В результате повышается общая урожайность поля без изменения затрат на средства химизации.

УДК 631.4

СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ РАЗНОМ УВЛАЖНЕНИИ

Котельникова А.Д., Борисочкина Т.И., Колчанова К.А., Шишкин М.А., Матвеева Н.В., Митрофанов Ю.И.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, kotelnikova_ad@esoil.ru

Среди природных факторов, ограничивающих развитие сельского хозяйства в Нечерноземной зоне России, переувлажнение и заболачивание являются одними из наиболее значимых. Существующие градации обеспеченности почв элементами питания разрабатывались для воздушно-сухих проб почв автономных ландшафтов, а значит могут не в полной мере отражать реальную картину для почв в условиях переувлажнения. При этом работы, направленные на изучение влияния условий увлажнения на подвижность и доступность для растений элементов, касаются в большей степени загрязненных почв. Почвы агроэкосистем отличаются количеством и характером поступающих элементов, тенденциями изменения почвенных свойств при длительном сельскохозяйственном использовании, и требуют дополнительных исследований. Поэтому проблема оценки обеспеченности растений микроэлементами и разработка критериев их оптимальных содержаний в почвах агроценозов остается достаточно актуальной.

Объектами исследования послужили образцы почв, отобранные на территории опытных полей ВНИИМЗ (Эммаусс, Тверская область). Почва опытного участка дерново-подзолистая

супесчаная глееватая среднекислая на осушаемом закрытом дренажом участке. Опыт по внесению минеральных удобрений проводится с 2011 года, в него включено три варианта: контроль (без внесения удобрений), средние нормы внесения удобрений (N45P45K45), высокие нормы внесения удобрений (N90P90K90). В опыте соблюдался плодосменный четырехпольный севооборот со следующим чередованием культур: яровая пшеница + клевер - клевер 1 г.п. – озимая рожь – картофель. Во всех вариантах опыта запахивали солому озимых зерновых культур и отаву клевера, на посевах яровой пшеницы применяли гербициды, в вариантах среднего и высокого фона удобрений под картофель использовали компост многоцелевого назначения (КМН) – 10 т/га. На 1 га севооборотной площади с КМН и минеральными удобрениями в варианте среднего фона вносили в действующем веществе 170 кг NPK, в 3-ем – 275 кг.

Модельный инкубационный эксперимент был поставлен в лабораторных условиях на образцах вариантов контроль, средний фон и высокий фон, пахотного и подпахотного слоев почвы. Для инкубации были использованы два режима увлажнения – 60 и 100 % предельной полевой влагоемкости почвы (ППВ). Для инкубации в пластиковые контейнеры с крышкой помещали 100 г воздушно-сухой почвы растертой и просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм. Инкубацию проводили при комнатной температуре. Образцы почвы отбирали после инкубации в течение 3 и 6 недель. Образцы инкубировались в трехкратной повторности. Подвижные формы элементов извлекали ацетатно-аммонийным буфером pH 4,8 (ААБ), 0,1 н H₂SO₄. Экстракция производилась из воздушно-сухих образцов, образцов с полевой влажностью и образцов с влажностью инкубационного эксперимента. В вытяжках определяли содержание Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Sr. Результаты исследования обработаны методами непараметрической статистики с использованием STATISTICA 10.0 и языка программирования R в среде R Studio.

Средние значения содержания подвижных форм Fe в целом выше в увлажненных образцах всех вариантов опыта по сравнению с воздушно-сухими образцами. Это подтверждается статистически достоверными различиями варианта опыта 100 % ППВ с инкубацией 3 недели с воздушно сухими образцами контроля, среднего фона и высокого фона удобрений. Отмечается снижение средних значений содержания подвижных форм Fe при увеличении времени инкубации во всех вариантах. При этом достоверных различий по времени инкубации внутри одной группы увлажнения и дозы удобрений нет, как и различий между дозами внесения удобрений при одном увлажнении и времени инкубации. Также содержание подвижных форм Fe выше в образцах почв с полевой влажностью по сравнению с воздушно-сухими образцами для всех доз внесения удобрений. Различие достоверно в контроле (0-20 см) – 812±94 и 1720±676 мг/кг. По содержанию подвижных форм Mn образцы с разным временем инкубации и одинаковой влажностью не различаются, в отличие от содержания подвижных форм Fe. В большей степени на содержание подвижных форм Mn оказало разное увлажнение образцов – в группах 100% ППВ концентрации выше, чем при 60% ППВ для всех групп. Достоверно различаются образцы в группе контроль (0-20 см) 3 недели инкубации – при 100% ППВ (235±77 мг/кг) и 60% ППВ (104±12 мг/кг). Содержание подвижных форм Cu во всех вариантах опыта при инкубации 6 недель, как при влажности 60% ППВ, так и при 100% ППВ, выше по сравнению с инкубацией 3 недели (кроме высокого фона при 60% ППВ). Также содержание подвижных форм Cu выше в образцах инкубированных 6 недель по сравнению с воздушно-сухими образцами и образцами с полевой влажностью. Закономерности содержания подвижных форм Ni сходны с отмеченными для Cu. Наиболее низкие значения содержания подвижных форм Co отмечены при 60% ППВ и времени инкубации 3 недели, это характерно для всех фонов удобрений, то есть более длительной инкубации содержание выше. Также отмечаются достоверные различия в зависимости от влажности образцов – при инкубации в условиях 100% ППВ содержание подвижных форм Co выше, чем при 60% ППВ. Для содержания подвижных форм Zn и Sr в образцах почвы не отмечено заметного влияния разной степени увлажнения.

При этом для Zn и Sr следует отметить увеличение концентрации подвижных форм с увеличением дозы внесенных удобрений по сравнению с контролем. Как было показано выше, увеличение содержания подвижных форм Zn на фоне внесения удобрений может обуславливать и рост содержания Zn в тканях растений. Коэффициенты корреляции Спирмена между содержанием подвижных форм Fe, Mn и других изученных элементов подтверждают возможность взаимосвязи поведения микроэлементов с Fe и Mn. Можно отметить более высокие значения коэффициентов для Mn.

Различия в концентрации подвижных форм при разных условиях увлажнения образцов приводят к изменению градации обеспеченности почв микроэлементами (Cu, Mn, Zn, Co). Так по Mn образцы варианта 100% ППВ и воздушно-сухие образцы соответствуют градации высокой обеспеченности почв данным элементом питания, образцы вариантов 60% ППВ и образцы полевой влажности – градации низкой обеспеченности. По содержанию подвижных форм Cu образцы варианта 100% ППВ соответствуют градации высокой обеспеченности, образцы варианта 60% ППВ – средней (контроль, средний фон) и высокой (высокий фон) градации, образцы с полевой влажностью – низкой (контроль) и средней (средний и высокий фон) градации, воздушно-сухие образцы – низкой градации обеспеченности. По содержанию подвижных форм Zn образцы относятся к низкой (контроль при 60 и 100% ППВ и в воздушно-сухих образцах, контроль и средний фон при полевой влажности образцов) и средней (средний и высокий фон при 60 и 100% ППВ и в воздушно сухих образцах, высокий фон при полевой влажности образцов) градации обеспеченности. Можно отметить, что поведение данного элемента в меньшей степени подвержено влиянию влажности образцов почв и изменение градаций обеспеченности не так существенно по сравнению с другими микроэлементами. Для Co образцы всех вариантов полевого опыта относятся к градации высокой обеспеченности почв при 100% ППВ, к средней градации – воздушно-сухие образцы, к низкой градации – образцы при 60% ППВ и полевой влажности. Показано, что различия в увлажнении образцов способны значительно изменять содержание подвижных форм Mn и Fe, что в свою очередь влияет на подвижность Cu, Co, Ni. Рост содержания подвижных форм Cu и Co приводит к изменению градаций обеспеченности почв данными микроэлементами от низкой до высокой, что может обуславливать необходимость корректировки существующих градаций обеспеченности почв с учетом их влажности. По-видимому, градации обеспеченности для Zn могут не корректироваться в зависимости от влажности почв.

УДК 631.452

ВЛИЯНИЕ ИЗБЫТОЧНО АКТИВНОГО ИЛА НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛИСТОВОГО САЛАТА

Курбатов А.А., Юркевич М.Г., Икконен Е.Н.

КарНЦ РАН, Петрозаводск, arkadiy1416@gmail.com

Избыточно активный ил — один из видов отходов предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Перспективным является изучение возможности его использования в качестве органического удобрения. В модельном опыте исследовалось влияние внесения избыточно активного ила на плодородие пахотного горизонта агрозема текстурно-дифференцированного типичного и продуктивность листового салата (*Lactuca sativa* L.) сорта Дубок, обладающего скороспелостью 65...70 дней. Заложено четыре варианта сосудов с массой почвы 2400 г по 6 повторностей в каждом варианте, в которые были посеяны семена салата. В первый контрольный вариант раствор избыточно активного ила не вносился, производился только полив дистиллированной водой. Во 2-й, 3-й и 4-й варианты вносились растворы избыточно активного ила объемом 260 мл с концентрацией 50, 75 и 100%. Растворы 2-го и 3-го вариантов разводились дистиллированной водой. В 4-м варианте ил вносился в неразведенном виде. За вегетационный период было произведено 3

внесения избыточно активного ила. Первое внесение проведено перед посевом (1 день опыта), остальные с интервалом в месяц (на 30-й и 60-й день опыта). Пробы почвы на анализы отбирались через месяц после внесений (на 30-й день, на 60-й, на 90-й день). В почвенных образцах определяли рН водных и солевых вытяжек, содержание легкорастворимых солей по методу сухого остатка, содержание углерода методом высокотемпературного каталитического сжигания, общий азот по методу Кьельдаля, подвижных соединений фосфора и обменного калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. В иле содержание углерода определялось методом высокотемпературного каталитического сжигания, азот и фосфор определяли по методу Кьельдаля, калий атомно-эмиссионным методом. Значимость различий между вариантами опыта определяли однофакторным дисперсионным анализом в среде R.

Пахотный горизонт исследуемой почвы по Гришину и Орловой характеризуются средним содержанием гумуса (4,62%), по соотношению C:N обеспеченность гумуса азотом очень низкая – 14,72, по Кирсанову обладает очень высоким содержанием подвижного фосфора — 257 мг/кг и средним содержанием обменного калия — 92 мг/кг. Содержание углерода в иле — 3,74 г/л, NPK — 365, 64 и 37,3 мг/л соответственно.

Однофакторный дисперсионный анализ показал достоверное увеличение запаса C, N, P ($p < 0,05$) при увеличении дозы ила (вариант), по калию эта зависимость недостоверна ($p > 0,05$). В результате трехкратного внесения ила в течение вегетационного периода внутри вариантов также обнаружена достоверная динамика запаса элементов питания ($p < 0,05$), кроме 2-го варианта (ил 75%) по содержанию фосфора ($p > 0,05$). После первого внесения на 30 день опыта зафиксировано увеличение запаса C, N, P и K в почве по сравнению с контролем. Запас C, N, P продолжает увеличиваться после второго внесения и на 60 день опыта фиксируется максимальный запас этих элементов в вариантах. Самое максимальное содержание элементов зафиксировано в 4-м варианте (максимальная доза ила). После 3-го внесения, вследствие роста и развития растений салата, наблюдалось снижение запаса C, N, P в почве.

Максимальный запас углерода (на 60-й день) во 2-м, 3-м и 4-м вариантах в сравнении с фоновым уровнем контроля повышается на 16,07, 23,82 и 32,96% соответственно. Запас гумуса по Гришину и Орловой во всех вариантах находится на среднем уровне.

Максимальный запас общего азота во 2-м, 3-м и 4-м вариантах повышается в сравнении с фоновым уровнем контроля на 17,00, 18,34 и 22,50% соответственно. Соотношение C:N с очень низкого уровня увеличивается до низкого и составляет 12,79, 13,49, 13,99 соответственно. Максимальный запас подвижного фосфора во 2-м, 3-м и 4-м вариантах повышается в сравнении с фоновым уровнем контроля на 3,38, 12,99, 18,18% соответственно. Во всех вариантах запас подвижного фосфора находится на очень высоком уровне. После второго внесения ила (на 60 день опыта) зафиксировано резкое снижение запаса обменного калия в почве до значений близких к контрольным, после третьего внесения ила (на 90 день опыта) повышения запаса элемента не происходит. Уровень запаса обменного калия относительно фонового снижается во всех вариантах со среднего до низкого: в 1-м контрольном варианте на 38,23, во 2-м на 37,07, в 3-м на 33,65, в 4-м на 36,12%.

Значимого влияния внесения ила на рН водной и солевой вытяжек не оказало. В вариантах по сравнению с контролем рН водной вытяжки поднимается с 5,6 до 5,7 (слабокислая). Обменная кислотность в вариантах держится на уровне 4,7...4,8 (среднекислая). Внесение ила вызвало достоверное повышение легкорастворимых солей в вариантах ($p < 0,05$). В контрольном варианте среднее значение сухого остатка составляло 221 мг/кг, во 2-м, 3-м и 4-м вариантах – 285, 293, 317 мг/кг соответственно. Внесенные дозы ила не вызвали засоления почвы, данные уровни содержания легкорастворимых солей в почве не являются критическими для растений.

Внесение ила обеспечило достоверное ($p < 0,05$) увеличение надземной вегетативной массы растений салата. Максимальная масса растений сформировалась в варианте с максимальной дозой ила. Угнетения растений после внесения ила не наблюдалось. В контрольном варианте средняя надземная вегетативная масса растений составляла 4,17 г, во 2-м, 3-м и 4-м вариантах масса увеличилась на 12,47, 60,19, 82,25% соответственно.

Внесение избыточно активного ила вызвало достоверное увеличение запаса углерода, азота и фосфора в почве. Не произошло значительного повышения содержания легкорастворимых солей и кислотности почвы. Отмечено достоверное увеличение продуктивности растений салата. Наиболее высокие значения запаса элементов и продуктивности растений достигались при внесении ила в концентрации 100%.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 22-16-00145

УДК 631.165.8:631.45

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ К ФИТОТОКСИЧЕСКИМ РИСКАМ

Ладан С.С.

ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, Москва, e-mail s.ladan@bk.ru

В практике агропочвоведения агроклиматический потенциал - это нормативный показатель, рассчитываемый по стандартной формуле. Утилитарно-смысловое восприятие любых показателей провоцирует исследователей на постоянные попытки доработать этот показатель до индикатора, реально отражающего, например, потенциальную эффективность плодородия или биоресурсный потенциал или даже бонитет. С момента выхода работы Карманова И.И. по почвенно-экологической оценке и бонитировке почв в 1990 году до методического руководства Кирюшина по агроэкологической оценке земель в 2005 году было множество попыток дополнить предложенные ими методические подходы. Любая попытка предложить индекс или формулу для расчета агроэкологической оценки почв и в настоящее время неизменно заканчивается замечанием о необходимости учета конкретных условий и специфики культур.

Фиксируемые изменения погодно-климатических условий и интенсификация использования средств химизации на фоне очаговых загрязнений среды техногенного характера приводят в совокупности к необходимости оценки влияния этих негативных факторов на риски недополучения урожая. С 2019 года во ВНИИ агрохимии им. Д.Н.Прянишкова проводятся исследования по выявлению, установлению и оценке ситуаций, связанных с негативными свойствами почв, которые могут проявляться как постоянно, так и в случаях определенных погодных условиях. Кроме того, специальные сравнительные полевые исследования позволили установить факты и условия проявления скрытой токсичности на фоне применения средств контроля нежелательных компонентов агроценоза.

Нормативная урожайности зерновых культур рассчитывается по «Методическим указаниям по государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения» (2010), используя показатели: содержание гумуса в пахотном слое, мощность гумусового горизонта, содержание физической глины в пахотном слое, негативные свойства почв (засоление, солонцеватость, каменистость, оглеение). Нашими исследованиями установлено, что в определенных условиях негативные свойства почв, вызванные антропогенной деятельностью могут приводить к существенному снижению урожайности, до 64 % и более.

Большинство негативных процессов, вызывающих фитотоксические эффекты, не имеют корреляции с аналитическими параметрами, определяемыми лабораторными инструментальными методами. Остаточные количества некоторых пестицидов и их метаболитов, например имидазолинонов, находятся за границей чувствительности имеющихся аналитических методов и приборов. Такое негативное явление как аллелопатическое почвоутомление может длиться от 3 до 7 лет, проявляясь только на одной культуре севооборота и не имея никаких аналитических подтверждений, кроме прямого

фитотестирования. Расчет балла бонитета построен на учете свойств самой почвы и урожайности сельхозкультур, по которой без сравнительного изучения нельзя установить величину недополучения урожая.

Здоровье почвы, как концептуальный критерий, отражающий продукционную и средообразующую характеристику почвы, так же пока не имеет принятого индикатора, но даже при слабом его нарушении недополучение урожая по нашим оценкам может достигать 15-25%. Особое значение в этих случаях приобретает динамика негативных событий, так например сочетание небольшой засушливости на ранних фазах развития скороспелого сорта, влияния средств защиты предшественника и внесенное средство стимуляции азотного питания приводило к 50% недобору урожая.

Недостаточность экспериментально-аналитических данных о влиянии свойств почв на устойчивость функционирования или здоровья почв и проявления фитотоксических эффектов закономерно приводит к использованию метода экспертных оценок. В связи с этим были проанализированы случаи проявления фитотоксичности и установлены и проранжированы сопутствующие факторы.

Авторами Почвенно-географической базы данных МГУ установлено, что на 65% территории России развиты почвы с низкой и пониженной устойчивостью функционирования. По нашим оценкам устойчивостью к проявлению фитотоксических рисков в категориях «выше средней» обладают всего 17% почв земель сельхозназначения. Решающими оказались не почвенные, а хозяйственно-технологические факторы. Их анализ выявил, что рискам фитотоксичности в одинаковой мере (по 19%) подвержены почвы с очень высокой интенсивностью возделывания и высокой урожайностью и районы с низкой нормативной урожайностью. Однако определяющие факторы оказались различными, если в первом случае самым весомым оказалось сочетание использования баковых смесей более 3 пестицидов и/или удобрений при монокультуре более 2 лет, то во втором – сочетание факторов качества посевного материала и сроков проведения технологических операций в неблагоприятных погодных условиях.

Накопленный экспериментальный материал и созданная база данных позволяет установить новые зависимости и закономерности, корректирующие методические подходы в агроэкологической оценке продуктивности почв и позволяющие избегать ее завышения.

УДК 631.43

ПЕДОТРАНСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ К ЭРОЗИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА МОРЕННЫХ СУГЛИНКАХ

И. А. Логачев, В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, А.В. Юхновец

Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь e-mail erosion@brissa.by

В настоящее время исследования почвенных агрегатов и устойчивости их к деградации становятся все более актуальными, однако прямое изучение данных почвенных свойств трудоемко и занимает много времени. К прямым методам относятся метод «сухого» и «мокрого» просеиваний Саввинова, построение изображений с помощью томографов, использование специального оборудования для симулирования процессов эрозии.

В связи с этим широкое распространение получают педотрансферные функции, которые позволяют с достаточной достоверностью прогнозировать различные почвенные показатели, в том числе структуру и водоустойчивость, на основании агрохимических и агрофизических свойств. При этом существующие модельные уравнения имеют очень ограниченный потенциал для прогнозирования, потому что разработаны для конкретных почв. В связи с этим

цель исследований заключалась в разработке педотрансферных функций структурно-агрегатного состава и устойчивости к эрозии дерново-подзолистых почв, развивающихся на моренных легких суглинках, занятых пахотными землями.

Объектами исследования являлись дерново-подзолистые эродированные почвы на легких моренных суглинках, стационара «Браслав» Браславского района Витебской области, являющиеся в геоморфологическом отношении единой почвенно-эрозионной катеной. На водораздельной равнине (плакоре) расположены незэродированные почвы, в верхней части склона – среднеэродированные, в средней части – сильноэродированные, у подножия склона – намытая почва.

В ходе исследований для определения взаимосвязей противоэрозионной устойчивости и структурного состояния почв и их свойств было отобрано более 100 сопряженных почвенных проб. С помощью интернет-сервиса Math.Semestr проведен корреляционный анализ, результаты которого представленные позволили определить параметры для использования в модели. В качестве зависимой переменной выбран показатель содержания агрономически ценных агрегатов, а в качестве независимых – содержание гумуса, плотность и соотношение степени насыщенности основаниями к содержанию гумуса.

На основании полученных зависимостей разработана модель структурного состояния дерново-подзолистой почвы, сформированной на моренных суглинках:

$$C = 33,24 + 27,94H - 24,46D + 5,66V/H.$$

где, С – сумма агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм), %; Н – содержание гумуса, %; V – степень насыщенности основаниями, %, D – плотность почвы, г/см³.

Множественный коэффициент корреляции 0,73 указывает на сильную связь между изучаемыми факторами. Это позволяет использовать данное уравнение в качестве модели прогнозирования структурного состояния почвы.

Также разработана модель оценки противоэрозионной устойчивости дерново-подзолистой почвы, сформированной на моренных суглинках:

$$B = 30,99 + 9,06 H - 13,13 V/H$$

где, В – водоустойчивость, %; Н – содержание гумуса, %, V/H – соотношение степени насыщенности основаниями к содержанию гумуса, %

Множественный коэффициент корреляции 0,76 указывает на сильную связь между изучаемыми факторами, что позволяет использовать данное уравнение в качестве модели прогнозирования противоэрозионной устойчивости.

Статистическая значимость уравнений проверена с помощью F-статистики распределения Фишера (правосторонняя проверка) которая показала, что коэффициент детерминации статистически значим и уравнения регрессии статистически надежны.

На основе количественных параметров и взаимосвязей агрофизических и агрохимических показателей были установлены оптимальные свойства «модельной почвы», которые представлены на в таблице 1

Таблица 1 – Агрофизические и агрохимические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, формирующие оптимальную структуру и противоэрозионную устойчивость

Показатель	Значение
Структура	мелкокомковатая
содержание агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм)	более 60,0 %
содержание водопрочных агрегатов (10–0,25 мм)	30,0–75,0 %
содержание гумуса	более 2,0 %
Плотность	1,2–1,3 г/см ³
pH _{кcl}	6,0–6,5
степень насыщенности основаниями	более 75,0 %

Данный набор свойств позволяет добиться хорошего структурного-состояния и удовлетворительной устойчивости к эрозионной деградации на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах, сформированных на моренных суглинках.

УДК 631.452

БИОЛОГИЗАЦИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ (БЕЛГОРОДСКИЙ ОПЫТ)

Лукин С.В.

Центр агрохимической службы «Белгородский», Белгород

Белгородский государственный национальный исследовательский

университет, Белгород, e-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

В Белгородской области в 2011 году был взят курс на биологизацию земледелия в рамках реализации стратегии экологизации сельского хозяйства. В практическом плане реализация этого курса осуществляется посредством проектирования и последующего освоения проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия и охраны почв (АЛСЗ) для всех землепользователей области. Проектирование АЛСЗ и оценка эффективности их внедрения осуществляются на основе данных государственного агроэкологического мониторинга, проводимого агрохимической службой.

Большая часть Белгородской области располагается в лесостепной зоне, где почвенный покров представлен в основном черноземами типичными и выщелоченными. В степной зоне области преобладают черноземы обыкновенные. По данным второго тура почвенного обследования, проводимого в 1970-1985 гг., доля эродированных пахотных почв составляла 47,9%. Величина гидротермического коэффициента по Селянинову изменяется от 1,2 на западе лесостепной зоны до 0,9 на юго-востоке степной.

За годы освоения проектов АЛСЗ существенно изменилась структура посевных площадей. Общая посевная площадь увеличилась на 63 тыс. га с 1369 тыс. га в 2010-2014 гг. до 1432 тыс. га в 2019-2022 гг. За эти же годы площадь чистых паров уменьшилась на 82 тыс. га, а площадь посева сидеральных культур увеличилась на 193 тыс. га, достигнув рекордного уровня в 317 тыс. га. Доля бобовых культур увеличилась с 277 тыс. га (20,2%) в 2010-2014 гг. до 393 тыс. га (27,4%) в 2019-2022 гг. В основном это связано с увеличением посевов сои с 105 тыс. га (7,7%) до 282 тыс. га (табл.).

Таблица. Динамика посевных площадей, внесения удобрений и урожайности сельскохозяйственных культур

Показатель	Циклы /годы агрохимического обследования			
	9 2010-2014	10 2015-2018	11 2019-2022	
Общая посевная площадь, тыс. га	1369	1429	1432	
Площадь чистых паров, тыс. га	129	65	47	
Площадь посева сидеральных культур, тыс. га	124	303	317	
Площадь посева бобовых культур, тыс. га	277	351	393	
Внесено минеральных удобрений, кг/га	98	112	114	
Внесено органических удобрений, т/га	4,8	8,1	9,6	
Произвестковано кислых почв, тыс. га/год	36,9	75,0	43,8	
Урожайность, т/га	озимой пшеницы	3,54	4,50	5,09
	ярового ячменя	2,72	3,46	3,82
	кукурузы на зерно	4,97	6,65	7,15
	Сои	1,60	2,13	2,07

	Подсолнечника	2,10	2,66	3,00
	сахарной свеклы	36,8	44,1	45,6

Важным направлением биологизации земледелия в лесостепной зоне области является известкование кислых почв. Максимальные объемы известкования 75 тыс. га в год были достигнуты в 2015-2018 гг., а в 2019-2022 гг. они снизились до 43,8 тыс. га в год в связи с сокращением площадей кислых почв. Средняя доза внесения органических удобрений за этот же период увеличилась с 4,8 до 9,6 т/га, минеральных – с 97,9 до 114,4 кг действующего вещества/га. В применяемых минеральных удобрениях превалирует азот, доля которого существенно выше, чем фосфора и калия вместе взятых.

Реализация программы биологизации земледелия существенно повлияла на основные параметры агроэкологического состояния пахотных почв. Средневзвешенное содержание органического вещества в почвах в 2019-2022 гг. увеличилось на 0,3% по сравнению с 2010-2014 гг. Основная причина этого – в высоких дозах внесения органических удобрений, которые за период 2015-2022 гг. составили более 8 т/га. Для зернопропашных севооборотов ЦЧР положительный баланс органического вещества в почвах формируется при дозах более 8 т/га севооборотной площади. Кроме того, поступление органического вещества в почву существенно увеличилось за счет повышения площади посева сидеральных культур и больших объемов поступления побочной продукции сельскохозяйственных культур за счет возросшей урожайности основной продукции. В то же время минерализация органического вещества почвы сократилась за счет уменьшения площади чистых паров, широкого использования минимальных обработок почв и технологии прямого сева.

Благодаря большим объемам работ по известкованию доля кислых почв сократилась с 45,8% в 2010-2014 гг. до 28,6% в 2019-2022 гг. При этом доля среднекислых почв снизилась с 12,6 до 3,0%. Для сравнения: в почвах Курской, Липецкой и Тамбовской областей, полностью расположенных в лесостепной зоне, доля кислых почв составляет 71,0, 77,9, 77,3% соответственно.

Благодаря достигнутому уровню внесения удобрений, особенно органических, содержание в почвах пашни подвижных форм P_2O_5 за этот же период было стабильным, а K_2O увеличилось на 14 мг/кг. По содержанию подвижных форм P_2O_5 и K_2O пахотные почвы Белгородской области являются самыми обеспеченными в ЦЧР. Для сравнения: в почвах Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 составляет 104, 129, 98 и 88 мг/кг, K_2O – 135, 112, 138 и 106 мг/кг соответственно.

Важным фактором агроэкологического состояния почв является содержание подвижных форм серы и микроэлементов. При низком уровне их содержания в почве рекомендуется применять удобрения, содержащие эти элементы. В настоящее время основным источником их поступления в агроценозы являются органические удобрения. Фактором, существенно снижающим подвижность микроэлементов в почвах, является известкование. За период мониторинга с 2010-2014 гг. по 2019-2022 гг. доля почв, низкообеспеченных серой, марганцем, цинком и медью, снизилась на 9,3, 13,5, 2,0 и 4,4% соответственно. Для нормирования содержания подвижных форм марганца, цинка, меди и кобальта установлены уровни предельно допустимой концентрации (ПДК), составляющие 140, 23, 3 и 5 мг/кг. Пахотных почв с превышением данных ПДК в ходе мониторинга не выявлялось. Благодаря достигнутому за годы биологизации земледелия уровню внесения удобрений (особенно органических), известкованию кислых почв, внедрению современных агротехнологий существенно увеличилась урожайность сельскохозяйственных культур. В 2019-2022 гг. по сравнению с 2010-2014 гг. урожайность озимой пшеницы выросла в 1,43, ячменя – в 1,4, кукурузы на зерно – в 1,44, подсолнечника – в 1,43, сои – в 1,29, сахарной свеклы – в 1,24 раза.

УДК 631.452

ПРОДУКТИВНОСТЬ ПАХОТНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ МЕЩЕРЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Лукин С.М.

Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа - филиал ФГБНУ "Верхневолжский ФАНЦ", e-mail vnion22@yandex.ru

В системе аллювиально-зандровых равнин, приуроченных к внутриплатформенным тектоническим прогибам, центральной и наиболее типичной является Мещерская низменность. Сложные исторические условия формирования рельефа Мещерской низменности обусловили крайнюю неоднородность и пестроту ее почвенного покрова. В составе его господствуют болотно-подзолистые (34 %) и дерново-подзолистые (32 %) почвы, представленные преимущественно средне и слабоподзолистыми. Широко распространены болотные почвы (18 %), среди которых низинные болота занимают около 65 %, переходные – 22 %, верховые – 13 %. Распаханность территории составляет 16 %, под лугами находится 17 % площади. На большей части пашни почвообразующими породами служат пески и супеси, а также двучленные отложения (пески и супеси, подстилаемые суглинистой мореной).

Для оценки продуктивности пахотных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава использовались материалы ландшафтных и длительных стационарных опытов, проведенных за последние 50 лет на дерново-подзолистых супесчаных и связнопесчаных почвах Владимирской области. В обобщение было включено 1294 наблюдений (вариантов опытов) по 7 культурам: озимая рожь, озимая пшеница, ячмень, овес, картофель, многолетние травы, однолетний люпин. Экспериментальные данные группировали по культурам и дозам внесения удобрений. На основе сгруппированных данных рассчитывали уравнения зависимости урожайности культур от доз внесения удобрений. При этом использовали преимущественно варианты с органоминеральной системой удобрения.

В агроландшафтных опытах установлено, что наибольший урожай всех культур севооборота получен на дерново-подзолистых автоморфных и слабоглееватых супесчаных почвах, приуроченных к верхней части склона с уклоном около 1°. В этой части агроландшафта обеспечивался более оптимальный режим увлажнения, по сравнению с другими элементарными ареалами ландшафта и не создавалось переувлажнения почв при выпадении большого количества осадков. Песчаные почвы были хуже всего обеспечены элементами минерального питания и влагой, в результате чего продуктивность севооборота оказалась в 2,1-2,3 раза ниже, по сравнению с супесчаными почвами. Из изучаемых культур более адаптированным для возделывания на песчаных почвах является однолетний люпин. Урожайность его на песчаных почвах составила 76-87 % от уровня урожайности, полученной на супесчаных почвах. В то же время урожайность многолетних трав снижалась в 2,7-3,2 раза, озимой пшеницы – в 2,3-3,4 раза, ячменя – в 2,1-2,6 раза, картофеля в 2,2-2,3 раза. В длительных стационарных опытах установлено, что различия в продуктивности супесчаных и песчаных разновидностей почв сохраняются независимо от дозы удобрений. Вследствие более сильного дефицита влаги на песчаных почвах, кривая роста урожайности сельскохозяйственных культур от использования удобрений на этих почвах выходит на плато при значительно меньших дозах их внесения, чем на супесчаных. Особенно это характерно для посевов яровых зерновых и многолетних трав, почти ежегодно испытывающих дефицит влаги. Различия в продуктивности картофеля на супесчаных и связнопесчаных почвах были существенно ниже, а в посевах однолетнего желтого люпина - несущественными. Все это говорит о том, что различия в уровне продуктивности дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почв сохраняются и при внесении повышенных доз удобрений. Поэтому при дифференцированном использовании удобрений, наряду с

агрехимическими свойствами, следует учитывать также свойства почв, определяющие агроэкологический тип земель.

УДК 631.861

ДИНАМИКА СКОРОСТИ И ГЛУБИНЫ ГУМИФИКАЦИИ БИОГУМУСА РАЗЛИЧНЫХ СРОКОВ КОМПСТИРОВАНИЯ

Мельникова И.П., Горбов С.Н., Безуглова О.С.

ЮФУ, Ростов-на-Дону, i.melnikova7@mail.ru

Одним из наиболее доступных и экономически выгодных способов обогащения почвы гумусовыми веществами является компстирование продуктов жизнедеятельности крупного скота.

В настоящее время вермикомпстирование представляет собой наибольший интерес в связи с увеличением интенсификации животноводства в регионах, в частности в Ростовской области. Особенностью вермикомпстирования стало использование дождевых червей-эпигеиков, чаще всего вида *Eisenia fetida*, которые подвергают переработке органические вещества с образованием вермикомпоста.

Навоз домашнего скота часто вносят в почву в попытке улучшить физико-химические и биологические свойства почвы. Но на данный момент активно изучается потенциально возможное отрицательное воздействие этого агроприема, т.к. известно, что компост, полученный из навоза, может содержать остатки антибиотиков.

Одним из главных достоинств вермикомпоста в сравнении с другими удобрениями органического происхождения, является высокая концентрация гуминовых веществ, помимо этого такие удобрения обладают меньшими потерями питательных элементов в почве и более высокой стабильностью.

В настоящем исследовании был использован конский навоз, обработанный микроорганизмами и имеющий различные сроки компстирования и различную глубину гумификации. Образцы отбирались в различные сроки компстирования от полутора месяцев до девяти месяцев: 1,5, 3, 5, 7 и 9 месяцев. Агентом вермикультуры выступал гибридный красный калифорнийский червь Старатель, относящийся к компстным червям вида *Eisenia foetida*). Из полученного разновозрастного компоста были выделены щелочные экстракты гуминовых соединений, с которыми проводились последующие исследования на предмет их физиологической активности.

В выделенных экстрактах определяли содержание общего органического углерода гумусовых соединений, с последующим их разделением на гуминовые и фульвокислоты. Предполагалось, что девятимесячное компстирование в вермикультуре обеспечит увеличение содержания гумусовых веществ по экспоненте, с аналогичным увеличением коэффициента глубины гумификации. Однако исследования показали, что в первые 1,5 месяца идет увеличение концентрации общего органического углерода с пиком в образцах 3 месяца компстирования, затем его содержание постепенно снижается. Такая же тенденция на увеличение наблюдается и с содержанием гуминовых кислот с максимумом на сроке компстирования 3 месяца, после чего наблюдается его постепенное уменьшение, аналогичное динамике общего углерода.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что оптимальным сроком компстирования конского навоза в вермикультуре является 3 месяца, о чем свидетельствует наибольшее количество гуминовых кислот в пробах этого срока относительно образцов в линейке с другими сроками «созревания» навоза.

Исследование выполнено в рамках программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030")

УДК 631.452 :631.8(476.4)

МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ГОРЕЦКОГО РАЙОНА МЕЖДУ ТУРАМИ АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ.

Персикова Т.Ф., Царёва М.В.

Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, persikova52@rambler.ru

Агрохимические показатели являются важной составляющей общей оценки потенциального плодородия почв. Для оценки состояния плодородия почв сельскохозяйственных земель, разработки мероприятий по поддержанию и повышению плодородия, в Беларуси областными проектно-изыскательскими станциями по химизации сельского хозяйства (ОПИСХ) с 1965 г проводится крупномасштабное агрохимическое и радиационное обследование почв сельскохозяйственных земель и носит плановый характер с периодичностью раз в четыре года. Пестрота плодородия пахотных земель республики связана не только с их генетическими особенностями, но и с различным уровнем окультуренности. На примере Горецкого района Могилёвской области проведён мониторинг плодородия пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв между 13(2013-2016гг) и 14(2017-2020гг) турами агрохимического обследования. Для оценки плодородия почв пользовались результатами крупномасштабного агрохимического обследования почв Могилёвской областной проектно-изыскательской станцией по химизации сельского хозяйства (ОПИСХ). Площадь пашни в Горецком районе составляет 65267га, том числе дерново-подзолистые глинистые и суглинистые 62462га (95,7%), супесчаные 2690га (4%), песчаные 95га (0,15%), торфяные 21га (0,03%). Распаханность территории района - 54%. Кислотность почв. Роль оптимизации реакции почв существенно возрастает в интенсивном земледелии. Эффективность минеральных удобрений существенно снижается при избыточной кислотности почв. Анализ данных показывает тенденцию подкисления пахотных дерново-подзолистых почв в районе. По результатам 14 тура pH_{KCl} 5,86, кислотность почвы увеличилась на 0,12 по сравнению с 13 туром (pH_{KCl} 5,98), что связано с увеличением количества сильнокислых ($pH_{KCl} < 5$) - 8,7% и кислых почв (pH_{KCl} 5,01-5,50) - 15,5% от площади пашни. Эти почвы подлежат известкованию в первую очередь. Количество слабокислых почв (pH_{KCl} 5,51-6,00) - 29,2%, с реакцией близкой к нейтральной (pH_{KCl} 6,01-6,50) и нейтральной (pH_{KCl} 6,51-7,00) - 46%. В целом следует отметить, что в настоящее время состояние кислотности пахотных почв поддерживается на уровне, благоприятном для возделывания большинства сельскохозяйственных культур.

Обеспеченность почв фосфором и калием является одним из основных признаков окультуренности дерново-подзолистых почв, тесно связанных с величиной и качеством урожая. Средневзвешенное содержание подвижного фосфора по результатам обследования в 14 туре составило 179 мг/кг почвы, что на 31 мг/кг ниже, чем в 13 туре, это связано с увеличением количества почв с очень низким (<60 мг/кг) и низким (61-100 мг/кг) содержанием на 23%. Но в районе почв со средним содержанием подвижного фосфора (101-150 мг/кг) - 22,9%, повышенным (151-250 мг/кг) и высоким (251-400 мг/кг) - 50,4%, высоким (>400мг/кг) - 3,7%.

По итогам 14 тура средневзвешенное содержание подвижного калия снизилось на 16 мг/кг почвы по сравнению с 13 туром и составляет 204 мг/кг почвы. Снижение произошло за счёт увеличения на 23,1% количества пахотных почв с очень низким (<80 мг/кг) и низким (81-140 мг/кг) содержанием подвижного калия. В тоже время в районе преобладали почвы с повышенным (201-300 мг/кг) и высоким (301-400 мг/кг) содержанием подвижного калия - 37,5%, со средним содержанием (141-200 мг/кг) их количество составляет 25,3%, очень высоким (>400мг/кг) - 7,4%. Но беспокоит увеличение почв с низким содержанием элементов питания. Очевидно, что дозы фосфорных и калийных удобрений на пашне были недостаточны, чтобы поддерживать баланс подвижного фосфора и калия в почве на положительном уровне.

Плодородие дерново-подзолистых почв тесно связано с содержанием органического вещества. Средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах по результатам 14 тура обследования составляет 2,09%, что на 0,05% выше чем в 13 туре. На 3,3% уменьшилось количество почв с низким его содержанием. Почв со средним содержанием (1,51-2,0%) - 41,4%, повышенным (2,01-2,50%) и высоким (2,51-3,0%) - 41,2%, очень высоким (>3,0%) - 8,3%. Повышенное содержание гумуса на пахотных почвах в районе связано с внесение органических удобрений, доза которых составляет в среднем по району 10 т/га, что обеспечивает его бездефицитный баланс.

Обеспеченность почв кальцием. Кальций - структурный элемент клеточных оболочек, жизненно необходимый для образования новых клеток. Средневзвешенное содержание обменного кальция в почвах района, к 14 туру обследования стабилизировалось на уровне 1223 мг/кг, причём, почвы со средним его содержанием (801-1200 мг/кг) составляют 47,1%, повышенным (1201-1600 мг/кг) и высоким (1601-2000 мг/кг) - 48,5%, очень высоким (>2000мг/кг) -2,9%. С учетом вышеприведенных параметров, более чем 96 % площади пашни района характеризуются оптимальной и высокой степенью обеспеченности почв обменным кальцием.

Обеспеченность почв магнием. Магний входит в состав хлорофилла, фитина и ряда других важных соединений в растениях. Средневзвешенное содержание MgO в пахотных почвах района по результатам 14 тура обследования снизилось на 20 мг/кг почвы по сравнению с 13 туром и составляет - 345 мг/кг почвы. Почв с повышенным (151-300 мг/кг) и высоким (301-450 мг/кг) содержанием-87,3%. В связи с использованием для известкования пылевидной доломитовой муки, где содержание MgO достигает 20 %, наблюдается долговременное повышение содержания в почве обменного магния.

Обеспеченность почв микроэлементами. Начиная с 1986 г. в Беларуси ведется крупномасштабное обследование почв сельскохозяйственных земель на содержание подвижных форм микроэлементов бора, меди, цинка и др. Для микроэлементов установлены градации содержания их в почве, которые разделяются на четыре группы: низкое, среднее, высокое и избыточное. Средневзвешенное содержание бора на пашне между турами обследования снизилось на 0,15мг/кг. почвы и составляет 0,57мг/кг (среднее), в районе в приоритете почвы средней группы-84,9%, доля площади почв 3и 4-ой группы обеспеченности составляют 15,1%. По содержанию меди пахотные почвы района относятся к среднеобеспеченным -2,04 мг/кг, что на 0,05 мг/кг ниже по сравнению с предыдущим туром обследования. Почв с низким содержанием меди (<1,5 мг/кг) 23,4%, средним-67,9%, повышенным и избыточным-8,7%. Средневзвешенное содержание цинка-3,84 мг/кг (среднее), что на 0,62 мг/кг выше, чем в 13 туре. Но в то же время почв с низким содержанием цинка (<3,0 мг/кг) - 26,4%, средним (3,1-5,0 мг/кг)- 59,8%, высоким (5,1-10,0 мг/кг) и избыточным (10,1-16,0 мг/кг) -13,8%. Установленные оптимальные параметры соответствуют верхнему диапазону второй группы обеспеченности почв, где необходимо компенсирующее вынос внесение микроудобрений в виде некорневых подкормок, обработки семян.

Согласно проведённым расчётам, индекс окультуренности пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв района в 14 туре составил 0,77 в 13-ом он был 0,82. Фактический балл с учётом поправочных коэффициентов на эродированность, завалуненность, степень окультуренности пахотных почв Горецкого района составил 32,8 балла. Пахотные земли Горецкого района, по результатам 14 тура агрохимического обследования, имеют хорошие условия для возделывания сельскохозяйственных культур, так как оценка по нормативному чистому доходу составляет 621 руб/га.

Таким образом для поддержания и повышения плодородия пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв Горецкого района необходимо вносить органические удобрения в дозах, рассчитанных на положительный баланс гумуса (12т/га), минеральные удобрения, с учётом

обеспеченности почвы элементами питания, возделывание сидератов, соблюдать технологию возделывания сельскохозяйственных культур.

УДК: 631.8: 631

КОМПЛЕКСНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Пироговская Г.В., Лапа В.В.

Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, г.Минск

e-mail: brissagro@gmail.com

Одной из важнейших задач в сельскохозяйственной производстве Республики Беларусь на современном этапе его развития является повышение эффективности использования минеральных удобрений. В настоящее время сформирован достаточно высокий потенциал плодородия пахотных почв, проводится систематическое, один раз в 4 года, известкование кислых почв, в структуре посевных площадей преобладают отечественные высокоинтенсивные сорта сельскохозяйственных культур, хозяйства оснащены высокопроизводительной сельскохозяйственной техникой. В расчете на один гектар пахотных почв применяется около 200 кг д.в. минеральных удобрений. Оптимальные дозы и биологически обоснованные соотношения элементов питания на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур рассчитываются для всех хозяйств Республики Беларусь на ЭВМ в системе АСУ-плодородие почв. Однако, в силу различных причин, при использовании простых форм минеральных удобрений в практической деятельности хозяйств часто не выдерживается сбалансированное внесение элементов питания под культуру. Чаще всего это проявляется в недостатке фосфора и относительном избытке калия. И это является основной причиной недостаточной эффективности применяемых удобрений. Решением проблемы сбалансированности минерального питания сельскохозяйственных культур является переход на широкое применение комплексных минеральных удобрений со сбалансированным соотношением элементов питания с учетом биологических особенностей растений.

Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси совместно с Белорусским национальным техническим университетом и Гомельским химическим заводом разработан необходимый ассортимент комплексных минеральных удобрений для всех возделываемых в Республике Беларусь сельскохозяйственных культур. В полевых опытах были установлены оптимальные составы и соотношения азота, фосфора, калия и необходимых микроэлементов для основного внесения в почву до посева, технические условия на получение опытно-промышленных и промышленных партий удобрений, проверка в полевых опытах их агрохимической эффективности и государственная регистрация в ГУ «Республиканская государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений».

Технологии получения новых форм комплексных удобрений внедрялись на Гомельском химическом заводе на действующем оборудовании. Для получения комплексных минеральных удобрений используется ретурный метод с использованием трубчатого реактора и барабанного гранулятора. Включает стадии нейтрализации серной и фосфорной кислот жидким аммиаком в трубчатом реакторе, смешивание и гранулирование пульпы фосфатов и сульфата аммония с хлористым калием и карбамидом с последующими стадиями сушки, классификации, охлаждения и омасливания. На основании результатов научных исследований на базе Гомельского химического завода освоено производство нового поколения конкурентоспособных на мировом рынке комплексных минеральных удобрений, которые по своим физико-химическим характеристикам превышают лучшие мировые аналоги сушки, классификации, охлаждения и омасливания. В промышленном масштабе комплексные удобрения выпускаются на ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Беларуськалий».

В сравнении с простыми формами минеральных удобрений комплексные удобрения имеют ряд преимуществ: снижение энергозатрат на внесение на 65-70% за счет сокращения количества проходов технических средств по полю, более высокая равномерность внесения и, самое главное, обеспечивается сбалансированность минерального питания сельскохозяйственных культур и сохраняется плодородие почв. Кроме того, при меньшем количестве проходов технических средств по полю происходит и меньшее переуплотнение почвы.

Новые формы комплексных минеральных удобрений имеют хорошие физические свойства - более низкую гигроскопичность (0,065-0,37 моль H_2O /г.ч.) и соответственно, более низкую слеживаемость.

Наиболее востребованными в сельском хозяйстве Республики Беларусь являются комплексные минеральные удобрения для льна, сахарной свеклы, озимого рапса. Несколько меньше используются комплексные минеральные удобрения для озимых и яровых зерновых культур, за счет которых можно достичь существенного прироста урожайности зерна. По данным исследований, проведенных на дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах, применение комплексных минеральных удобрений обеспечивало прибавки урожайности зерна озимой пшеницы - 4,2 ц/га, озимого рапса - 3,5 ц/га.

Переход на широкое применение в сельском хозяйстве комплексных минеральных удобрений со сбалансированным соотношением элементов питания с учетом их биологических особенностей при соблюдении всех других требований агротехнологий при достигнутом уровне плодородия почв может быть фактором, который обеспечит повышение продуктивности растениеводческой отрасли сельского хозяйства без увеличения общей потребности в минеральных удобрениях.

В последние годы разрабатываются удобрения пролонгированного/контролируемого срока действия и интерес к ним неизменно растет. При этом в качестве сырьевых добавок используют ингибиторы нитрификации и биологически разлагаемые полимеры отечественного производства, регуляторы роста растений природного происхождения, микроэлементы и другие экологически безопасные добавки. Препараты нового поколения повышают эффективность удобрений и снижают экологическую нагрузку на окружающую среду. Эти удобрения имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными: вносятся однократно, обеспечивают культуры питанием на протяжении длительного периода их вегетации, исключаются дополнительные подкормки азотом, в меньшей степени загрязняются почвы, грунтовые и поверхностные воды, а ингибитор и биополимер разлагаются в почве, не оказывая отрицательного воздействия на биоту и экосистемы.

Одним из направлений исследований является разработка составов серосодержащих, органосеросодержащих, органом кремнийсодержащих и органом калийных удобрений на основе птичьего помета, фосфогипса, отходов гранитных производств и калия хлористого, способов их грануляции, а также исследований по изучению эффективности стандартных и новых форм удобрений под различными сельскохозяйственными культурами.

Установлено, что кроме бобовых, зернобобовых и крестоцветных культур, отмечена высокая эффективность серосодержащих удобрений на озимых и яровых зерновых культур, что связано с недостаточным содержанием серы в пахотных почвах.

УДК 631.95; 57.033

ВЛИЯНИЕ ГИДРОУГЛЕЙ ИЗ ЩЕПЫ ЯБЛОНИ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Привизенцева Д. А., Казеев К. Ш.

ЮФУ Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского, Ростов-на-Дону,

dashaprivi@gmail.com

Метод гидротермальной карбонизации позволяет из биоотходов получить твердый продукт - гидроуголь, обогащенный углеродом. В ходе гидротермальной карбонизации происходит преобразование органических отходов с содержанием воды 50–90 % (по массе) при относительно низких температурах (180-260 °С) и высоком давлении (около 2-6 МПа). Потенциал применения гидроуглей огромен: секвестрация углерода для сокращения выбросов парниковых газов, использование для повышения плодородия почв и улучшения ее качества. За счет отличных способностей гидроуглей к адсорбции, комплексообразованию и большого количества О–содержащих функциональных групп, он часто используется для рекультивации почв от тяжелых металлов и других загрязняющих веществ: органических загрязнителей (пестициды, фармацевтические препараты, красители), избыточных питательных веществ (нитраты и фосфаты) в водной и почвенной среде.

К сожалению, данные о влиянии гидрочара на биологические характеристики почвы малочисленны. В связи с этим, в лабораторных условиях была проведена краткосрочная инкубация смеси гидроугля и почвы. Образцы почвы были отобраны из поверхностного слоя (0-20 см) на территории опытного участка Ботанического сада Южного федерального университета. Почва участка типична для обширной территории юга России и классифицирована как чернозем обыкновенный (миграционно-сегрегационный). Почву высушивали естественным образом в лаборатории и просеивали через сито 5 мм.

Сырье для гидроугля было приобретено на коммерческой основе и не нуждалось в дополнительной подготовке перед процессом гидротермальной карбонизации. Гидроуголь был получен с помощью реактора 4520 фирмы Parr Instrument Company, США. Температура гидротермальной карбонизации для двух видов гидроугля составляла 180 ± 10 °С (НВ₁₈₀) и 250 ± 10 °С (НВ₂₅₀). В обоих случаях время выдержки составляло 1 час. После нагрева реактор быстро охлаждали до комнатной температуры. Гидрочар собирали путем вакуумной фильтрации с использованием фильтровальной бумаги толщиной 0,45 мкм, а затем трижды промывали дистиллированной водой. После промывки гидроуголь сушили в духовке при температуре 105°С до полного высыхания.

Схема эксперимента. 500 г почвы поместили в пластиковый контейнер объемом 1000 см³. В пять контейнеров с почвой соответственно добавили НВ₁₈₀ в дозах 0,5, 1 и 5% (по массе) и НВ₂₅₀ в дозах 0,5 и 1% (по массе), после чего тщательно перемешивали. В качестве контроля выступала почва, без добавления гидроугля. Исследования проводили в трёхкратной повторности, всего было 18 контейнеров. Контейнер неплотно закрывали крышкой, в которой делали 6 перфораций для обеспечения газообмена с окружающей средой. В качестве тест-объекта были взяты семена озимой пшеницы. Показатели роста озимой пшеницы подсчитывали через 7 суток. Инкубация осуществлялась в комнатных условиях (20-25°С). Влажность почвенной смеси регулировалась весовым методом на оптимальном для растений уровне.

Результаты эксперимента показали, что данные виды гидроугля в указанных дозах не оказали статистически значимого влияния на всхожесть семян. На длину корней проростка гидрочар оказал положительное влияние вне зависимости от его вида (длина корней увеличивалась на 13–21% по сравнению с контролем). Большой стимулирующий эффект оказали НВ₁₈₀ в дозах 0,5% и 5% и НВ₂₅₀ в дозе 0,5% (рис.):

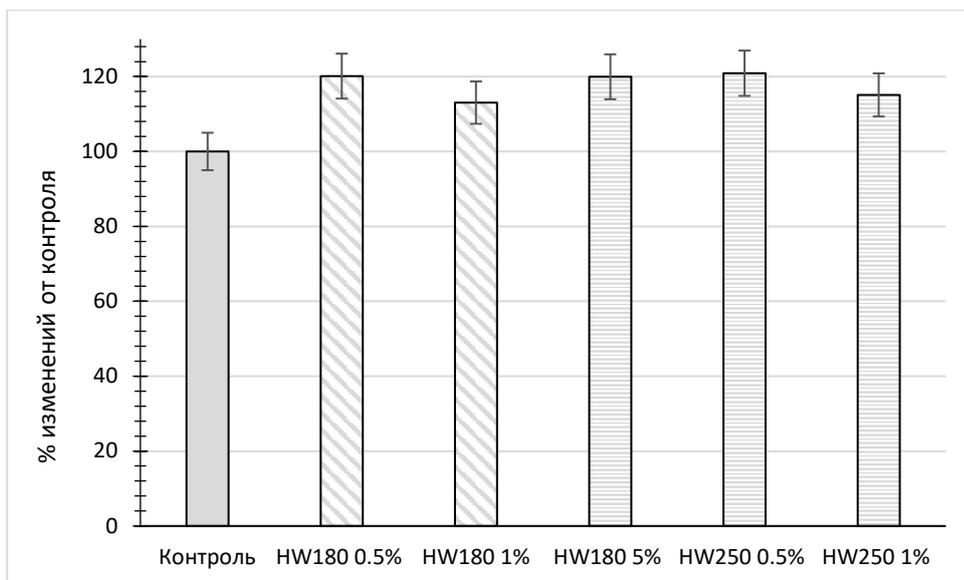


Рисунок. Эффект гидрогелей на длину корней проростков озимой пшеницы после 7-суточной инкубации

HW₁₈₀ в дозах 1 и 5% и HW₂₅₀ в дозе 1% оказали негативное воздействие на длину побега, снижение составило 3-18% от контроля. Причем максимальный отрицательный эффект наблюдался при 5% дозе HW₁₈₀. Наши данные подтверждаются другими учеными. Низкие температуры гидротермальной карбонизации (<200°C) не оказывают статистически значимого воздействия на рост растений. В гидрогелях, полученных при более высоких температурах, могут синтезироваться органические кислоты и фенолы, оказывающие токсичное действие на растения. Также некоторыми авторами отмечается, что с повышением дозы внесения гидрогеля, длина проростка уменьшается. Таким образом, влияние гидрогелей на начальный рост растений зависит от условий гидротермальной карбонизации и доз их внесения в почву. Гидрогель оказал положительное воздействие на начальный рост озимой пшеницы.

УДК 631.42

СОСТОЯНИЕ ПОЧВОГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА УФИМСКОГО ЛИМОНАРИЯ

Садыкова Ф.В.^{1,2}, Чурагулова З.С.³, Билалова Э.Г.^{1,3}, Мухаметова А.Р.^{1,2}

¹ ГБПОУ «Уфимский лесотехнический техникум» Министерства лесного хозяйства Республики Башкортостан, Уфа

² ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий, Уфа

³ ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет, Уфа

E-mail: lemonarium@mail.ru

Экспериментальный лимонарий был заложен в 1990 году на месте плодово-ягодного сада в квартале 24 Паркового лесничества Уфимского лесхоза, расположенного в зеленой зоне г. Уфы. Это круглогодичная теплица учебно-опытного хозяйства ГБПОУ «Уфимский лесотехнический техникум» площадью 1 га. Территория участка расположена в платформенной части Башкирского Предуралья, в пределах Прибельской увалисто-волнистой равнины. Рельеф ровный и представляет собой в восточной части более возвышенную и в западной части более пониженную слабоволнистую водораздельную равнину с незначительным уклоном до 2° на запад. Грунтовые воды залегают глубже 2,0 метров. Почвообразующие породы представлены элювиально-делювиальными отложениями, преимущественно осадочными породами: пермские коричневые глины суглинками, а также

известняками и разноцветными мергелями. Они характеризуются наличием солей Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe_2O_3 и Al_2O_3 . Почвы территории, отведенной для ведения тепличного хозяйства, определены как коричневые типичные структурно - метаморфические глинистого гранулометрического состава. Под воздействием антропогенных факторов, при использовании под плодово-ягодный сад, почвы преобразились в агрокоричневые. Почвы подобранной площади оказалась относительно приближенными к условиям естественного места произрастания теплолюбивых растений, поэтому удалось интродуцировать в условиях закрытого грунта более 500 видов тропических и субтропических культур: разные виды рода *Citrus*, *Punica granatum*, *Theobroma cacao*, *Ficus carica*, *Musa velutina*, *Annona squamosa* и др. Круглогодичное выращивание многолетних растений в условиях закрытого грунта связано с интенсивным воздействием на почвенный покров. Обогащенный многими компонентами-наполнителями, такими, как торф, песок, перегной, и комплекс минеральных удобрений, почва постепенно приобретала свойства почвогрунтов. За короткий срок происходит обогащение органическими веществами, изменение рН среды, истощение основными элементами минерального питания. В таких условиях мониторинг состояния почвогрунтов является актуальным. В хозяйстве со дня основания ведется наблюдение за состоянием почвогрунтов, который осуществляется периодическими агрохимическими исследованиями. В отобранных пробах определяются основные показатели плодородия с использованием методических указаний, принятых в почвоведении и агрохимии, ГОСТов, а также современных классификаций. Анализы проводятся с использованием классических методов в Почвенно-химической лаборатории ФБУ «Рослесозащита» - «Центр защиты леса РБ». (Свидетельство об оценке состояния измерений № ЦСМ РБ. ОСИ. АЛ.03394.).

Анализируемый антропогенно-преобразованный слой тепличного почвогрунта характеризуется тяжелосуглинистым гранулометрическим составом.

Технология выращивания тропических и субтропических культур отличается от общепринятой агротехники культивирования цветочных и овощных растений.

Минеральные удобрения применяются без хлора, без нерастворимых примесей (CaSO_4). Из азотных удобрений применяются аммиачная селитра, мочевина, а также комплексные удобрения с содержанием азота; из фосфорных - двойной суперфосфат, аммофос, диаммофос; из калийных - сульфат калия. В очень малых дозах в концентрациях примерно 0,01-0,05% вносятся микроудобрения - борная кислота, марганцовокислые соли, медный купорос, сернокислый цинк, железный купорос. Из органических удобрений – перепревший конский навоз с опилками, птичий помет (куриный). Средние агрохимические показатели тепличных грунтов по годам представлены в таблице.

Таблица. Средние агрохимические показатели тепличных грунтов слоя (0-35 см).

Название испытаний	Показатели по годам		
	2020	2022	2024
Определение кислотности рН (вод.)	7,1±0,28	7,2±0,27	7,1±0,25
Содержание гумуса, %	9,5±0,65	13,6±0,28	13,1±0,25
Подвижные формы фосфора (P_2O_5), мг/кг почвы	407,9±0,75	421,3±0,91	421,4±0,87
Обменные формы калия (K_2O), мг/кг почвы	191,9±0,65	247,4±0,64	255,6±0,68
Минеральные формы азота: нитратные N-NO_3 и аммонийные (N-NH_4), мг/кг почвы	366,9±1,21	350,8±0,95	372,5±1,01

По данным таблицы содержание гумуса в почвогрунте варьирует в пределах 9,5-13,6 по годам. Содержание минеральных форм азота стабильно. По степени кислотности тепличные грунты отнесены к нейтральным. В сравнении с 2020 годом наличие обменных форм калия увеличилось, наличие подвижных форм фосфора колеблется не сильно.

Внесение удобрений регулируется в зависимости от культуры и года выращивания.

Выращиваемые в закрытом грунте культуры для формирования урожая требуют в 3-4 раза больше питательных элементов, удобрения необходимо вносить в соответствии с потребностью в питательных веществах по периодам роста растений и данными агрохимических анализов почвогрунтов.

Таким образом, обеспеченность почвогрунтов в условиях закрытого грунта лимонария различна. Для создания оптимальных условий произрастания и формирования урожая экзотических тропических и субтропических культур необходимо вносить органические и минеральные удобрения в зависимости от наличия основных элементов минерального питания.

УДК 631.442:633.14:631.559

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ НА РАЗНОКУЛЬТУРЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Кирдун Т.М.

Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Минск, e-mail: seraya@tut.by

Состояние почв, степень их соответствия требованиям сельскохозяйственных растений для формирования высоких урожаев оценивается степенью окультуренности почвы. На почвах с высоким уровнем плодородия для получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур затраты минеральных удобрений всегда ниже, чем на почвах с более низкими показателями агрохимических свойств. Поэтому повышение эффективности использования удобрений относится к числу важнейших государственных задач, стоящих перед почвенно-агрохимической наукой и аграрной отраслью Республики Беларусь. Цель исследований – оценить влияние окультуренности почвы на урожайность зерна озимой ржи и окупаемость удобрений. Исследования с озимой рожью гибрид Винетто проводили в 2021-2023 годах на средне- и высокоокультуренных дерново-подзолистых почвах в двух полях. Среднеокультуренная дерново-подзолистая супесчаная почва характеризовалась слабокислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды, средним и повышенным содержанием гумуса, подвижных форм фосфора, низким и средним содержанием подвижных форм калия. Высокоокультуренная легкосуглинистая почва характеризовалась нейтральной реакцией почвенной среды, высоким содержанием гумуса и подвижных форм калия и очень высоким подвижных форм фосфора (по градациям, принятым в Республике Беларусь). Опыты заложены в четырехкратной повторности вариантов. Общий размер делянки 31,2 м². Предшественник озимой ржи – горох посевной. После уборки предшественника солому измельчили и равномерно распределили по делянкам, затем, согласно схеме опыта, внесли по соломе микробиологическое удобрение «Жыцень» или компенсирующую дозу азота в виде КАС (смесь растворов карбамида и аммиачной селитры) и провели лущение стерни. Через две недели в 1-м блоке провели вспашку, во 2-м – дискование в один след. Озимую рожь высеяли в начале третьей декады сентября с нормой 60 кг/га. Урожайность зерна озимой ржи в неудобренном варианте на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве в среднем за 2 года составила 36,7 ц/га. Внесение минеральных удобрений (P50K90 в основное внесение, N70 в ранневесеннюю подкормку и N30 в фазу начало трубкования) способствовало росту урожайности в 2 раза при окупаемости 1 кг НРК 15,4 кг зерна. В варианте, где в основное внесение фосфорные и калийные удобрения не вносили, а проводили некорневые обработки комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га в осенний и ранневесенний периоды, прибавка урожая по сравнению с неудобренным вариантом составила 37,3 ц/га и была на уровне варианта, где фосфорные и калийные удобрения вносили под вспашку. Второй год последствий подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га не оказал существенного влияния на урожайность зерна озимой ржи. Запашка соломы гороха (2,9 т/га) без внесения компенсирующей дозы азота (Солома + N15 + P50K90 + N70+30) способствовала снижению

урожайности зерна озимой ржи на 4,2 ц/га, по сравнению с аналогичным вариантом без соломы. За счет внесения компенсирующей дозы азота по соломе гороха (Солома + N15 + P50K90 + N70+30) в среднем за 2 года урожайность зерна увеличилась на 5,3 ц/га. В блоке дискования в неудобренном варианте получено 35,2 ц/га зерна озимой ржи. Внесение минеральных удобрений (P50K90 в основное внесение, N70 в ранневесеннюю подкормку и N30 в фазу начало трубкавания) обеспечило рост урожайности на 38,8 ц/га или на 110 % при окупаемости 1 кг NPK 16,1 кг зерна. Последствие подстилочного навоза KPC в блоке дискования не оказало существенного влияния на урожайность зерна. Урожайность в варианте с заделкой соломы в чистом виде имела тенденцию к снижению (-2,3 ц/га) по сравнению с минеральным фоном. Обработка соломы целлюлозоразлагающим микробным удобрением Жыцень в блоке дискования способствовала росту урожайности зерна на 6,4 ц/га, в то время как в блоке вспашки этот агроприем был неэффективным. На высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в блоке вспашки за счет эффективного плодородия почвы получено 63,9 ц/га зерна озимой ржи, что на 27,2 ц/га или 74 % выше, чем на среднекультуренной супесчаной почве. Учитывая очень высокое содержание в почве подвижных форм фосфора и высокое калия (по Кирсанову) дозы фосфорных удобрений снижены на 25 кг/га и калийных на 30 кг/га по сравнению с дозами на среднекультуренной почве. Внесение P25K60 + N70+30 способствовало росту урожайности в среднем за 2 года до 92,8 ц/га, что на 28,9 ц/га или 45 % выше, чем в варианте без удобрений, окупаемость 1 кг NPK составила 15,6 кг зерна. Запашка соломы гороха без компенсирующей дозы азота (Солома + P25K60 + N70+30) на высококультуренной почве не оказала существенного влияния на урожайность по сравнению с минеральным фоном. Внесение компенсирующей дозы азота по соломе по влиянию на урожайность также было неэффективным. В блоке дискования за счет эффективного плодородия высококультуренной почвы в среднем за 2 года получено 61,8 ц/га зерна озимой ржи. Внесение до посева P25K60, N70 в ранневесеннюю подкормку и N30 в фазу начало трубкавания способствовало росту урожайности зерна до 94,3 ц/га, что на 32,5 ц/га (53 %) выше, чем в неудобренном варианте, при окупаемости 1 кг NPK 17,6 кг зерна озимой ржи. Заделка соломы гороха на удобрение без компенсирующей дозы азота не оказала существенного влияния на урожайность зерна. Прибавка урожая от внесения компенсирующей дозы азота по соломе в виде КАС в дозе 19 кг/га д.в. была не существенной. В варианте с обработкой соломы целлюлозоразлагающим микробным удобрением Жыцень урожайность зерна по сравнению с минеральным фоном увеличилась на 5,7 ц/га и составила 100,0 ц/га. Следует отметить, что заделка дисками соломы, обработанной микробным удобрением Жыцень, гораздо эффективнее по влиянию на урожайность, чем ее запашка, т.к. данное удобрение гораздо лучше работает в аэробных условиях, как на высококультуренной суглинистой почве, так и на среднекультуренной супесчаной. Таким образом, за счет эффективного плодородия высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы урожайность озимой зерна ржи в среднем за 2 года была на 74 % выше по сравнению со среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвой. Удобрения способствовали существенному снижению негативного влияния погодных условий и сглаживали роль степени окультуренности почвы: урожайность в удобренных вариантах на высококультуренной почве по сравнению со среднекультуренной почвой была выше на 29 %. Оценивая роль отдельных факторов в формировании урожайности зерна озимой ржи, можно заключить, что в среднем за два года за счет почвенного плодородия высококультуренной почвы получено 66 % урожая, за счет применения минеральных удобрений – 34 %, на среднекультуренной – 50 % за счет плодородия почвы и столько же за счет удобрений.

УДК 631.879.4

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОСТОВ С БИОУГЛЕМ

Смирнова К.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,

ks.smirnova.98@mail.ru

Интенсивное использование сельскохозяйственных земель увеличивает нагрузку на почвы и неизбежно приводит к их деградации, поэтому возникла необходимость интенсификации сельского хозяйства. Гумус является ключевым компонентом почв, поддерживающим устойчивость и уровень плодородия в них. Пополнение запасов гумуса происходит, как правило, за счёт использования органических удобрений. В настоящее время большая их часть представлена в виде компостов, состоящих из новообразованных слабогумифицированных лабильных соединений. Попадая в почву, они легко подвергаются биодеструкции и минерализуются, не достигая глубокой химической зрелости. Были получены компосты, содержащие не только лабильные, но и устойчивые к микробиологическим и биохимическим воздействиям гуминовые кислоты (ГК). Такие компосты могли бы с большим основанием служить основой для формирования и поддержания почвенного плодородия. Основываясь на современных сведениях о технологиях совместного компостирования отходов с минеральными или органическими добавками, несомненный интерес представляет использование в качестве составной части компостируемой смеси нового перспективного мелиоранта почв – биоугля (БУ).

Цель работы – дать оценку агрохимических свойств готовых компостов, содержащих стабилизированные формы ГК. Компосты были получены на основе растительных остатков: свежей надземной массы клевера красного (*Trifolium pratense* L.), ржи посевной (*Secale cereale* L.) и сухой соломы овса посевного (*Avena sativa* L.). Выбранный растительный материал характеризуется различной обогащенностью азотом, а, следовательно, разной доступностью к разложению – высокой (клевер, C:N – 22,1), средней (рожь, C:N – 38,6) и низкой (овес, C:N – 68,4). В качестве реагентов, активизирующих компостирование, использовались биоуголь (БУ) и химически чистый карбонат кальция (CaCO_3) – традиционно используемый мелиорант, значительно повышающий стабилизацию ГК почв при их известковании.

БУ, полученный быстрым пиролизом из древесины березы и осины при температуре 550°C, характеризовался следующими свойствами: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,1$; содержание $\text{C}_{\text{орг}} = 85,6\%$; $\text{N}_{\text{общ}} = 0,43\%$; полное отсутствие минерального азота в нитратной форме и крайне низкое в аммонийной = 20 мг кг^{-1} ; высокое содержание калия = 598 мг кг^{-1} и кальция = 412 мг кг^{-1} ; влажность = 2,1%; зольность = 1,8%. Содержание водорастворимых и щелочно-растворимых соединений углерода крайне низкое = 0,008-0,009%. Агрохимические показатели компостов были определены с использованием традиционных методов исследования.

Показано, что добавление карбоната кальция, и БУ вызвало повышение значения pH компостов (до 8,2-8,4 и 7,6-7,9 соответственно). Увеличение щелочности при внесении БУ связано со значительным содержанием в нём карбонатов, бикарбонатов и силикатов, которые могут связываться с ионом водорода при формировании ГК. Это снижает концентрацию H^+ и, следовательно, увеличивает значение pH компостируемого материала. Внесение карбоната кальция и БУ в компостируемые смеси вызвало снижение общего содержания органического вещества в разной степени. При этом по сравнению с контрольными вариантами в компостах на основе ржи и клевера БУ привёл к более значительному снижению Собщ. (на 4-6%), чем карбонат кальция (на 1-2%). Одним из возможных механизмов, объясняющих усиление минерализации при совместном компостировании растительных остатков с БУ, является стимуляция почвенных микроорганизмов. Считается, что это связано с ростом содержания доступных питательных элементов, содержащихся в БУ, а также с тем, что сама микроструктура БУ является благоприятной для жизнедеятельности микроорганизмов средой.

Кроме того, во всех компостах внесенные добавки значительно изменили объемы новообразования ГК. В их присутствии формирование ГК протекало значительно активнее, чем в контрольных вариантах. БУ проявил максимальную эффективность во всех вариантах и повысил содержание ГК на 57-83%. Во всех видах компостов добавление БУ привело к значительному уменьшению соотношения C:N (на 3-11%) по сравнению с контролем. Увеличение под влиянием БУ обогащенности органического вещества азотом может способствовать снижению риска иммобилизации азота в почве и оптимизации азотного питания растений.

Применение БУ во всех вариантах привело к очень значительному повышению содержания нитратной и аммонийной форм азота по сравнению с контролем. Вероятно, большое количество функциональных групп в БУ и его высокая сорбционная способность определили возможность накопления и аммонийных, и нитратных форм азота. Оба исследуемых реагента вызвали значительное повышение обменных оснований, причем не только карбонат кальция, но и БУ привёл к повышению содержания Ca^{2+} и Mg^{2+} . На содержание подвижных форм фосфора карбонат кальция и БУ не оказали существенного влияния. Не выявлено влияния карбоната кальция и на содержание обменных форм калия. При этом под воздействием БУ содержание обменных форм калия увеличилось во всех видах компостов в 1,5-2 раза по сравнению с контролем. По-видимому, такой эффект связан с высоким содержанием обменного калия в самом БУ.

Таким образом, применение БУ во время компостирования растительных остатков позволяет получить компосты высокого качества. Такие компосты обладают значительным потенциалом для улучшения состояния почв, характеризуясь слабощелочной реакцией среды, оптимальной для жизнедеятельности микроорганизмов, высокой насыщенностью основаниями, повышенным содержанием подвижных форм элементов минерального питания растений, а также высоким содержанием органического вещества, в том числе, стабилизированных форм гуминовых веществ.

УДК 631.81

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЕЁ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ

Смирнова Ю.Д.¹, Ворончихин В.В.²

¹ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, ulayad@yandex.ru; ² ПАО «Акрон», Москва, voronchihin@acron.ru

Минеральное питание растений является одним из важных и регулируемых факторов, влияющих на физиологические процессы, происходящие в растениях, и соответственно на урожайность и качество продукции. Обоснованное использование минеральных удобрений позволяет получать урожай заданного качества и количества, с определенными биометрическими показателями. Влияние на формирование культуры оказывает как внесение основного удобрения, так и подкормки растений. Растительная диагностика является одним из способов оценки обеспеченности культуры элементами питания. Кроме того, она помогает определить в какие фазы идет максимальное потребление тех или иных элементов и впоследствии рационально использовать удобрения.

В Нечерноземной зоне России проведено множество полевых опытов по изучению эффективности минеральных удобрений. Как показывают полученные данные, вносимые дозы минеральных удобрений на 25-30 % оказывались завышенными на фоне относительно невысоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Целью исследований было определение содержания основных макроэлементов в растениях яровой пшеницы по фазам развития в зависимости от дозы вносимого основного удобрения. Исследования проводились в 2022-2023 гг. на агрополигоне Губино ВНИИМЗ – филиале ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (Тверская обл.). Почва опытного участка

дерново-подзолистая, легкосуглинистая среднекислая (рН_{KCl} 4,5-4,6), с низким содержанием гумуса (1,66-1,93 %), очень высоким содержанием фосфора (240-280 мг/кг), повышенным содержанием калия (120-150 мг/кг).

Опыты проводили с яровой пшеницей сорта Злата селекции ФИЦ «Немчиновка».

Предшествующая культура – картофель.

В опытах применяли минеральные удобрения ПАО Акрон - под предпосевную культивацию вносили азофоску (N₁₆P₁₆K₁₆), в фазу кушения – аммиачную селитру (N_{34,4}). Основное удобрение применяли в трех дозах - N₁₅P₁₅K₁₅, N₃₀P₃₀K₃₀, N₄₅P₄₅K₄₅, подкормка в единой дозе N₃₅. Контролем служил вариант без удобрений. Повторность опыта трехкратная.

По климатическим условиям вегетационные периоды (май-август) годов исследования различались: по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Г.Т. Селянинова 2022 г. относился к оптимальным по обеспечению влажностью – ГТК 1,28, 2023 г. к влажным – ГТК 1,42.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась в Microsoft Excel 2019.

Анализ динамики накопления макроэлементов в надземной части растений в среднем за 2 года исследований, показал, что содержание азота и фосфора снижалось по мере роста растений до фазы молочной спелости, а содержание калия продолжало снижаться к фазе полной спелости (табл.). Рост количества азота в растениях пшеницы в фазу полной спелости связан с максимальным поступлением веществ в зерновку и окончанием формирования урожая. Динамика накопления азота в зависимости от дозы вносимого минерального удобрения претерпевала более динамичные изменения, чем фосфора и калия. При этом статистически значимая разница в накоплении азота в надземной части растений яровой пшеницы между вариантами отмечалась только в фазу кушения (НСР_{0,05} 0,415).

В среднем за два года наибольшая прибавка зерна пшеницы получена в варианте с дозой минерального удобрения N₄₅P₄₅K₄₅ + N₃₅. Также следует отметить, что разница между урожайностью пшеницы в вариантах №3 и №4 статистически недостоверна (НСР_{0,05} 0,47).

Применение удобрений способствовало повышению массы 1000 зерен в среднем примерно на 3 г, отмечено достоверное увеличение в среднем на 12 г/л природы зерна в вариантах с дозами N₃₀P₃₀K₃₀ и N₄₅P₄₅K₄₅. Повысилось содержание белка на 0,86-1,3 % абс., клейковины, значительно улучшилось качество клейковины (показатель ИДК).

Таблица – Содержание макроэлементов в надземной части растений яровой пшеницы по фазам развития, урожайность и качество

показатели		контроль	N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅
N, %	кущение	3,45	3,79	4,00	4,27
	колошение	1,62	1,62	1,90	1,92
	мол. спелость	0,96	0,93	1,13	1,16
	пол. спелость	1,65	1,74	1,93	1,73
P ₂ O ₅ , %	кущение	0,86	0,96	0,90	1,04
	колошение	0,61	0,62	0,59	0,62
	мол. спелость	0,48	0,42	0,43	0,45
	пол. спелость	0,66	0,67	0,74	0,62
K ₂ O, %	кущение	4,40	4,40	4,61	4,69
	колошение	3,00	3,14	3,10	3,89
	мол. спелость	1,45	1,37	1,39	1,48
	пол. спелость	0,72	0,76	0,86	0,93
урожайность, т/га		2,39	2,75	3,22	3,43
белок, %		9,66	10,52	10,72	10,96

Сравнение исходного агрохимического анализ почвы с содержанием макроэлементов после уборки, показало незначительный вынос элементов питания с основной и побочной продукцией яровой пшеницы.

Таким образом, анализ динамики содержания макроэлементов в среднем за 2 года исследований показывает, что максимальное их количество в надземной части пшеницы наблюдается в начальные фазы роста растений, постепенно снижаясь по мере её созревания. Обеспечение растений азотом было главным фактором в повышении урожайности и качества зерна.

УДК 574. 631.46

БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СООБЩЕСТВАХ *HERACLEUMSOSNOWSKYI* ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Смотрина Ю. А.^{1,2}, Лаптева Е. М.¹, Далькэ И. В.^{1,2}, Захожий И. Г.¹

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail smotrina-juliya@yandex.ru;

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар, e-mail smotrina-juliya@yandex.ru

Формирование постагрогенных экосистем на залежных землях сопровождается последовательным восстановлением на них зональных типов растительных сообществ и почв, соответствующих данной биоклиматической зоне. На рубеже XX-XXI вв. этот процесс существенно осложнился за счет внедрения в постагрогенные экосистемы инвазионных видов. Среди них особую обеспокоенность вызывает борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). Внедрение *H. sosnowskyi* на залежные земли, выведенных из режима агропроизводства, и формирование на таких участках устойчивых во времени, самоподдерживающихся сообществ *H. sosnowskyi*, свидетельствует о стабилизации в них процессов поступления и трансформации растительного материала.

Цель работы – оценка параметров биологического круговорота в растительных сообществах, формирующихся на залежах с различным типом сукцессии: разнотравный луг → мало видовые сообщества *H. sosnowskyi* → молодой осинник. Исследования проводили в окрестностях г. Сыктывкар (Республика Коми, средняя тайга). Для проведения исследований выбран залежный участок (модельный участок – МУ) площадью около 1 га, ранее осушенный системой открытого дренажа (координаты: 61.645851 с. ш., 50.731263 в. д.). Участок выведен из агрорежима в 2012–2013 гг. и в настоящее время активно зарастает *H. sosnowskyi*. В пределах МУ выделены зоны, различающиеся по характеру растительности: в центральной части – участок, занятый мало видовыми сообществами *H. sosnowskyi*(1); в периферической части – участки с сохраненной злаково-разнотравной растительностью (2) и мелколиственным молодняком из осины, березы, ивы (3). При сборе биологического материала и его анализа использованы методические подходы, отвечающие требованиям геоботанических, экологических и почвенных исследований.

Установлено, что продуктивность *H. sosnowskyi* на залежных землях составляет в расчёте на свежую растительную массу 103,6±27,8 т/га надземной (листья, черешки, стебли генеративных растений) и 32,3±6,8 т/га подземной (стеблекорни) фитомассы. В расчёте на сухое вещество это соответствует 14,5±3,9 и 7,7±1,6 т/га. Ежегодно около 78,1% фитомассы *H. sosnowskyi* (надземная часть растений и стеблекорни генеративных растений) отмирает, обеспечивая поступление в почву значительного количества (17,4 т/га) органического вещества. Растительный опад в сообществах *H. sosnowskyi* характеризуется высоким содержанием легко минерализуемых соединений, прежде всего, сахаров, включающихся в процессы минерализации. Структурные компоненты фитомассы *H. sosnowskyi* существенно различаются по химическому составу. В листьях и черешках по сравнению со стеблями генеративных побегов выше содержание N, P, Ca, Mg и ниже – K. В надземной фитомассе

растений, особенно в листьях и их черешках, отмечено высокое содержание Са – до 45 г/кг. Подземные органы имматурных и виргинильных растений, в отличие от корневой системы генеративных особей, характеризуются более высокой концентрацией N и P, но уступают им по аккумуляции таких элементов, как K, Ca и Mg. С учётом количественных параметров образующейся в постагрогенных экосистемах средней тайги фитомассы *H. sosnowskyi* в составе её органического вещества аккумулируется углерода более 9 т/га, кальция – до 500 кг/га, азота и калия – около 300 кг/га, фосфора – 77 кг/га, магния – 66 кг/га. Основная часть углерода и зольных элементов входит в состав надземной фитомассы и ежегодно включается в биологический круговорот вещества и энергии. Внедрение *H. sosnowskyi* в постагрогенные экосистемы, ежегодное поступление с его растительным опадом значительного количества органического материала (около 17,3 т/га сухой массы), богатого зольными элементами и быстро минерализуемого почвенной микробиотой, в условиях подзоны средней тайги Республики Коми обуславливают весьма благоприятное влияние на плодородие бывших агродерново-подзолистых почв, выведенных из режима сельскохозяйственного использования.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (номера госрегистрации: 122040600023-8 и 122040600021-4).

УДК 631.4, 632.9

ПРОЕКТ «ЗДОРОВЬЕ ПОЧВ» КАК ЧАСТЬ УСТОЙЧИВОГО АГРОБИЗНЕСА

Соколова Е.А.

ООО «Сингента», Москва, e-mail: elena.sokolova@syngenta.com

В 2019 году компанией Сингента на территории России, Казахстана и Беларуси был инициирован проект «Здоровье почв».

Краткосрочные цели проекта: обратить внимание на важность сохранения здоровья почв – как часть устойчивого агробизнеса, показать связь между видимыми проблемами и фундаментальными изменениями, происходящими почве, составить рейтинг проблем со здоровьем почв для локальных условий, оценить хозяйственное и экономическое значение обозначенных проблем, провести инвентаризацию научно-обоснованных мер по восстановлению здоровья/плодородия почв, наметить регионально-адаптированные меры по улучшению статуса здоровья почв, составить рейтинг деградаций – ремедиационная / не ремедиационная, сформулировать рекомендации/составить резолюцию для передачи хозяйствам. Долгосрочные цели проекта (для конкретных хозяйств-партнеров): снизить вариабельность урожайности по годам с 30 до 15%, обеспечить оптимальный /заданный уровень урожайности, минимизировать негативное влияние агротехнологий на почву и окружающую среду.

Методология проекта реализованная на период 2019-2024:

- консолидирован научный опыт по направлению «здоровье почв» - создано кросс-дисциплинарное научное сообщество из специалистов в области – агрохимии, почвоведения, почвенной микробиологии, фитопатологии, земледелия, энтомологии, гельминтологии;
- разработан учебный курс «Здоровье почв»,
- подобраны методики оценки статуса здоровья (параметры сгруппированы следующим образом регламентируемые/оценочные/сравнительные),
- разработан алгоритм интерпретации данных,
- консолидированы практики улучшения статуса здоровья почв и группы параметров для мониторинга эффективности ремедиационных процессов.

Проведена оценка статуса здоровья почв на площади более 300 000 га – Россия (Воронежская Курская, Новосибирская, Омская, Самарская, Тамбовская, и области, Краснодарский край, Республика Удмуртия), Казахстан (ВКО Усть-Каменогорск).

Зафиксированы следующие направления деградационных процессов - дегумификация,

потеря лабильного органического вещества, ухудшение качества органического вещества (сдвиг в направлении фульватизации), изменения в ППК – уменьшение ЕКО, вымывание из ППК кальция, смещение рН в сторону повышения кислотности, ухудшение структуры почвы – понижение коэффициента структурности, увеличение плотности (подошвы на глубинах 10-15-20 и 40-50 см), снижение пористости, сдвиги в представленности патогенной, условно-патогенной и бенефициарной микрофлоры, снижение нитрификационной способности.

Перспективные направления проекта – расширение географии оценки статуса, внедрение ремедиационных практик, дальнейшая популяризация актуальности сохранения здоровья почв как элемента устойчивого аграрного производства.

УДК 631.5:004.85

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СОРТАХ И ГИБРИДАХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Солдаткина М.А., Фомин Д.С., Цымбарович П. Р.

Почвенный институт имени В. В. Докучаева, Москва, email: msoldatkina99@gmail.com

Современное сельское хозяйство требует оперативного получения и обработки данных о сортах и гибридах растений, а также постоянного обновления этой информации с появлением новых сортов. Традиционные методы извлечения такой информации, основанные на правилах и шаблонах, становятся все более трудоемкими и сложными для реализации ввиду увеличения объема и разнообразия данных. В этом контексте, большие языковые модели (БЯМ), такие, как BERT и GPT, предлагают эффективные и адаптивные решения для автоматизации процесса извлечения информации, что делает их перспективными для решения этой задачи.

Цель настоящего исследования - сравнительный анализ различных подходов и моделей для извлечения информации о сортах и гибридах растений из текстовых описаний, используя БЯМ. В частности, исследование сосредоточено на оценке эффективности моделей GPT-3.5 Turbo и GPT-4o от OpenAI.

Увеличивающаяся популярность ChatGPT привела к изучению его возможностей в различных областях, в том числе в сельском хозяйстве. Недавние исследования о классификации сельскохозяйственных текстов, идентификации вредителей и борьбе с ними демонстрируют востребованность и значительный потенциал использования БЯМ в задачах автоматизации извлечения сельскохозяйственной информации. В свою очередь, текстовые описания, публикуемые Росреестром, содержат информацию о хозяйственных и биологических свойствах растений, их морфологических характеристиках, а также сведения об устойчивости к болезням и абиотическим факторам. Все эти данные, преобразованные в машиночитаемый формат, могут быть использованы для подбора подходящих удобрений или, например, для выбора оптимальных средств защиты растений.

Для достижения целей исследования были использованы модели GPT-3.5 Turbo и GPT-4o, обученные на обширном русскоязычном корпусе, что делает их весьма эффективными для работы с русскоязычными текстами. Эти модели были дообучены на размеченных вручную данных текстовых описаний сортов и гибридов. Такой подход позволил адаптировать модели к конкретным задачам и улучшить точность извлечения информации. Дополнительно применялась техника few-shot learning, что позволило использовать ограниченное число примеров в запросе для настройки моделей на новые задачи.

Исследование продемонстрировало значительный потенциал использования БЯМ для автоматизации извлечения информации в сельском хозяйстве. Модели GPT-3.5 Turbo и GPT-4o показали высокую производительность и адаптивность, что делает их перспективными для дальнейшего применения и разработки в этой области. С их помощью стало возможным

преобразовать неструктурированный текст описаний сортов и гибридов растений в JSON-объект, который легко читается как людьми, так и машинами.

Будущие исследования могут быть сосредоточены на интеграции этих моделей в системы поддержки принятия решений в сельском хозяйстве, на применение данной методики к БЯМ с открытым исходным кодом и на дальнейшее повышение точности моделей.

УДК 631.811.1

АГРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПРИРОДНЫХ ОКРУГОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Сорокина О.А.

ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», Красноярск, E-mail: geos0412@mail.ru

Основным агроэкологическим требованием земледелия является получение устойчивой во времени урожайности сельскохозяйственных культур, не зависящей от флуктуации погодных условий, экстремальных или стрессовых факторов. Реализация такого требования очень затруднена в условиях резко-континентального климата Сибирского региона с периодически повторяющимися засухами, где только около 30% территории пригодно для организованного земледелия. Поэтому сельскохозяйственное производство Красноярского края сосредоточено в лесостепной зоне (70,2%), на открытых массивах подтайги (28,1%). В степной зоне эта доля занимает всего 1,7%. Глобальные и региональные проблемы агросферы Сибири и Красноярского края связаны с множеством факторов и условий. К ним относятся специфическое географическое и геоморфологическое положение территории, жесткий биоклиматический потенциал, составляющий 0,52-0,54 балла. Островной (котловинный) характер земледельческой части определяет характер землепользования, состояние плодородия и особенности агрохимической характеристики почв, средний балл бонитета которых составляет 27,5.

Земледельческая территория Красноярского края включает в себя шесть природных округов (Канский, Красноярский, Ачинско-Боготольский, Назаровский, Чулымо-Енисейский, Южно-Минусинский), которые характеризуются различными условиями тепло- и влагообеспеченности. Обобщенные многолетние материалы агрохимического обследования почв природных округов и, в целом, по краю, свидетельствуют о средней и повышенной степени гумусированности почв. Между циклами обследования установлено достоверное снижение содержания гумуса в Восточном и Центральном природных округах. На 3,8% сократились площади с высоким (-1,0%) и очень высоким (-2,8%) содержанием гумуса. Установлено, что за последние 10 лет средневзвешенное значение гумуса понизилось на 0,1% и составило - 7,1%. Ежегодные потери гумуса происходят за счёт минерализации в паровых полях, доля которых в структуре пашни составляет до 20-30%. При очень слабом использовании органических удобрений пополнение запасов органического вещества почвы идёт только за счёт пожнивных и корневых остатков возделываемых сельскохозяйственных культур, что не может обеспечить положительный баланс гумуса. Не менее важная причина падения гумуса в почвах пашни это ежегодно проводимые весенне-осенние палы на полях, в результате чего в верхнем слое почвы (0-3 см) выгорает органическое вещество, основа гумуса.

Средневзвешенное значение рН_{КС1} почвы увеличилось на 0,1 ед. в сторону подщелачивания и составляет 5,8 единиц, что означает близкую к нейтральной реакцию. В последнее время стало чаще фиксироваться наличие почв со слабощелочной реакцией, которых ранее не было установлено.

Продуктивность сельскохозяйственных культур обусловлена комплексом природных и агротехнических факторов, ведущее значение среди которых занимает обеспеченность почвы элементами питания и, прежде всего, азотом. Анализ результатов сплошного агрохимического обследования свидетельствует, что практически половина обследованных

площадей почв Центрального и Западного природных округов характеризуется низкой и очень низкой обеспеченностью нитратным азотом. Еще ниже обеспеченность этой важнейшей формой азота в почвах Южно-Минусинской и Восточной группы районов. Сплошное обследование, проведенное агрохимической службой края, свидетельствует, что паровой предшественник не оправдывает свое назначение как отличного накопителя нитратного азота в почвах всех природных округов. Более половины площади пашни по паровому предшественнику испытывают острый дефицит минерального азота. Слабо работают на нитратонакопление однолетние травы, рапс и пропашные предшественники. Минимизация обработки почв также существенно снижает обеспеченность нитратным азотом за счет уплотнения почвы, негативно сказывающегося на активности процессов нитрификации. Большинство обследованных производственных и опытных посевов сельскохозяйственных культур, а также яровой пшеницы разных сортов, по различным предшественникам методом тканевой диагностики характеризуются острым дефицитом азота, а также очень высокой пространственной пестротой их содержания. Это требует регулирования и оптимизации питания, как при основном внутрпочвенном внесении удобрений, так и в течение вегетации за счет проведения некорневых подкормок широким спектром препаратов нового поколения.

Максимальную площадь пашни занимают почвы с очень низким и низким содержанием подвижного фосфора (37,9%), со средним – 28%. Средневзвешенное его содержание в почвах пашни края равно 157,6 мг/ кг почвы. Проявляется определенная зональность. Особенно бедны фосфором почвы Чулымо-Енисейской, Ачинско-Боготольской, Минусинской и южной части Канской лесостепи, где на долю почв с очень низким и низким содержанием P_2O_5 приходится более 50% площади пашни. Лучше обеспечены подвижным фосфором северные районы Канской лесостепи. 82,9% площади пашни края нуждается в первоочередном внесении фосфорных удобрений. Потребность сельского хозяйства края в фосфорных удобрениях (за счет комплексных) удовлетворяется не более, чем на 10-15%. Обеспеченность пахотных почв Красноярского края обменным калием высокая и очень высокая за счет тяжелого гранулометрического и калийсодержащего минералогического состава. Между циклами обследования установлено незначительное увеличение содержания подвижного калия, высвобождающегося из минералов при механической обработке почвы. Не соблюдение сбалансированности поступления элементов азотного и фосфорного питания нарушает поглощение растениями калия, что также установлено по результатам тканевой диагностики.

Почвы сельскохозяйственных угодий лесостепной зоны Красноярского края характеризуются низким содержанием подвижной серы. Средневзвешенное содержание серы в почвах края составляет 4,26 мг/ кг почвы, что соответствует низкой обеспеченности. Сера отличается от азота и фосфора тем, что её обращение в биосфере намного быстрее, а её резервы для обеспечения растений в почве беднее. В то же время интенсивность процесса сульфатации в два раза слабее, чем нитрификации, особенно в резко континентальных условиях края. Поэтому в агроценозах всех природных округов отмечается отрицательный баланс серы. Вносимые дозы минеральных и органических удобрений, а также недостаточный ассортимент серосодержащих удобрений не компенсируют отчуждение серы с урожаями сельскохозяйственных культур. Недостаточное содержание серы в почвах приводит к уменьшению ее поступления в растения, снижению величины урожаев и ухудшению качества растениеводческой продукции. Оптимизация серного питания растений с учетом агрохимических свойств зональных почв повысит эффективность использования других макро- и микроэлементов.

Анализ применения минеральных удобрений в крае свидетельствует о том, что достигнут стартовый уровень. В настоящее время вышли на компенсационный уровень использования удобрений. Соотношение применяемых минеральных удобрений по N:P:K неудовлетворительное. Преобладают азотные удобрения. Наблюдается острейший дефицит

фосфорных удобрений, а также комплексных азотно-фосфорных и азотно-фосфорно-калийных удобрений. Для более эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроландшафтов Красноярского края, повышения продуктивности регионального земледелия, необходимо увеличить объемы применения минеральных удобрений в Ачинско-Боготольском, Канском, Красноярском и Южно-Минусинском природных округах, а также оптимизировать по видам их соотношение.

УДК 631.415

ДИНАМИКА СТЕПЕНИ ОБМЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ - КУЗБАССЕ

О.И. Степанова, Д.С. Брыляков, Т.В. Сладкова.

ФГБУ ЦАС «КЕМЕРОВСКИЙ», КЕМЕРОВО, e-mail: agrohim_42@mail.ru

Систематическое наблюдение, изучение, анализ плодородия почв и его динамики, принятие необходимых мер составляют основу государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Один из важнейших показателей почвенного плодородия, который должен контролироваться в ходе проведения мониторинга почв – кислотность почвенного раствора. От ее величины зависит уровень урожайности, его качество и эффективность применения минеральных удобрений.

Сибирский федеральный округ вошёл в число четырёх федеральных округов со значительной долей площади пашни сильнокислых почв ($pH_{KCl} 4,0$) – 1,1 %; на шестом месте по доле среднекислых почв ($pH_{KCl} 4,6-5,0$) – 7,1 % и на втором месте по доле слабокислых почв ($pH_{KCl} 5,1-5,5$) – 37,3 %. Это свидетельствует о распространении процессов деградации в сочетании с недостаточным уровнем проведения агрохимических мелиоративных мероприятий.

По состоянию на 01.01.2024 года площадь кислых почв в Кемеровской области составляет 915,7 тыс. га из них: сильно и среднекислых – 267,9 тыс. га.

Целью данного исследования было выявление изменений степени обменной кислотности (pH_{KCl}) почв по циклам агрохимического мониторинга.

Для обобщения использованы результаты анализа данных сплошного агрохимического обследования пахотных почв в Юргинском, Ленинск-Кузнецком, Крапивинском, Кемеровском, Топкинском, Гурьевском и Промышленновском муниципальных округах (МО) (рис.).

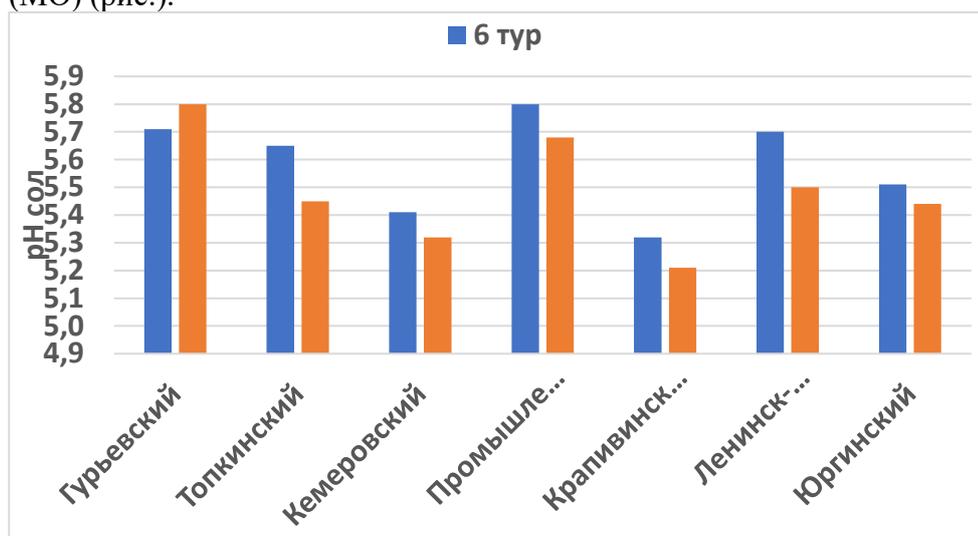


Рис. - Сравнение обменной кислотности за 2 последних тура агрохимического обследования пахотных почв в муниципальных округах

Во всех МО изменения величины pH_{KCl} статистически значимые, о чём свидетельствует критерий достоверности разницы средних агрохимических показателей – его значение более 2,0.

В большинстве МО произошло снижение анализируемого показателя, что говорит об увеличении кислотности почвенного раствора.

В Ленинск-Кузнецком, Крапивинском, Кемеровском и Топкинском МО произошли существенные изменения по сравнению с предыдущим циклом обследования в распределении площади пашни по группам кислотности (коэффициент существенности различий Романовского более 3,0).

Наиболее значительные перераспределения площади пашни выявлены в группах со среднекислыми и слабокислыми почвами. Так площади среднекислых почв увеличились в Топкинском МО в 4,2 раза, в Ленинск-Кузнецком - в 2,4 раза, в Кемеровском – в 2,0, в Крапивинском МО - в 1,3 раза. Площади слабокислых почв в Промышленновском и Ленинск-Кузнецком МО увеличились в 1,8 раз, в Топкинском – в 1,5 раза.

Увеличение в этих группах произошло за счет уменьшения площади пашни с обменной кислотностью почв близкой к нейтральным и нейтральной.

В Гурьевском МО напротив, уменьшилась площадь почв со среднекислой и сильнокислой обменной кислотностью и увеличилась площадь с кислотностью близкой к нейтральным и нейтральной за счет применения современных агротехнологий.

Таким образом, результаты мониторинга пахотных почв за последние 20 лет свидетельствуют о достоверном увеличении доли кислых почв, что говорит о необходимости проведения мелиоративных мероприятий для оптимизации роста и развития сельскохозяйственных культур и сохранения почвенного плодородия.

УДК 631.412

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАЛЕЖНЫХ И ПАХОТНЫХ ПОЧВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Стрелков Д.А.

ФГБУ «РосАгрохимслужба», Москва, strelkov-dima@mail.ru

По площади земельных ресурсов Российская Федерация занимает первое место в мире, а по площади пашни входит в пятерку лидеров. В настоящее время в России, по данным Росреестра (по состоянию на 01.01.2023 г.) земли запаса занимают 87,9 млн. га. При этом большая часть земель выведена из оборота более 10-15 лет назад. Эти земли переведены в залежь и трансформируются под влиянием естественных и антропогенных процессов, таких как почвообразование, залужение, заболачивание, задернение, зарастание бурьяном, кустарником, порослью берез и сосен.

Выведение пахотных угодий из состава севооборота сопровождается снятием сельскохозяйственной нагрузки и запускает сложный процесс восстановления, как зонального растительного покрова, так и почвенного плодородия – залежную сукцессию, которая сопровождается сравнительно быстрой дифференциацией пахотного горизонта, образованием дернины на поверхности и органо-минеральных горизонтов.

Почвенный покров Можайского района представлен дерново-подзолистыми почвами, отличающиеся по степени проявления дернового и подзолистого процесса почвообразования. По гранулометрическому составу преобладают среднесуглинистые разновидности, сформированные на моренных средних суглинках.

Сравнительная характеристика залежных и пахотных почв проводилась с помощью закладки ключевых площадок, выявленных в результате экспедиционных обследований территории Можайского района Московской области. Ключевые площадки отвечали следующим требованиям:

1) Располагались на почвенных разновидностях, типичных для условий Можайского района;

2) На одном элементе ландшафта, на одной и той же почвенной разности присутствовали два вида угодий – пашня и залежь. На пашне изучались свойства антропогенно-измененных почв, на залежи – степень наложения природного (зонального) процесса почвообразования на антропогенно-измененные почвы. Все площадки с залежными почвами были разбиты на три группы по периоду зарастания (до 10, 10-20 и более 20 лет). На каждой площадке были отобраны образцы для определения агрохимических показателей. Почвенные образцы проанализированы в лабораториях ФГБУ «РосАгрохимслужба»:

Кислотность почвы потенциометрическим методом по ГОСТ Р 58594-2019;

Массовая доля органического вещества по Тюрину в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213-2019;

Подвижный фосфор и обменный калий по Кирсанову ГОСТ 26204-91;

Гидролитическая кислотность по Каппену в модификации ЦИНАО ГОСТ 26212-91;

Обменные формы кальция и магния по ГОСТ 26487.

Таблица 1. Средние значения агрохимических показателей в слое 0-20 см

	Пашня	Залежь до 10 лет	Залежь 10-20 лет	Залежь более 20 лет
Органическое вещество, %	2,2	2,2	2,5	2,4
P ₂ O ₅ , мг/кг	158	188	143	95
K ₂ O, мг/кг	127	128	107	127
pH _{KCl}	4,8	5,0	5,0	4,9
Hг, мг-экв/100г	2,8	2,6	2,7	2,7
S, мг-экв/100г	7,3	7,4	7,8	7,4

По данным таблицы 1, на залежных почвах содержание гумуса выше, чем на пахотных. Стоит отметить, что наибольшее содержание органического вещества отмечается в залежных почвах возрастом от 10 до 20 лет (2,5 %) и возрастом более 20 лет (2,4 %), что связано, вероятнее всего, с увеличением опада по мере зарастания залежи древесно-кустарниковой растительностью.

Наибольшее содержание подвижных форм фосфора наблюдается в залежи возрастом до 10 лет (188 мг/кг). Далее с увеличением возраста залежи наблюдается постепенное снижение подвижных форм фосфора до 95 мг/кг на залежи возрастом более 20 лет.

Подвижных форм калия больше в залежных почвах, чем в пахотных. Наибольшее содержание наблюдается в залежи возрастом до 10 лет (128 мг/кг). Затем наблюдается резкое снижение в залежи возрастом от 10 до 20 лет (107 мг/кг). В залежи возрастом более 20 лет содержание подвижных форм калия такое же как и в пашне, что можно объяснить увеличением опада на залежных почвах возрастом более 20 лет, так как на ней начинает преобладать древесно-кустарниковая растительность.

Под пашней почвы кислее залежных почв. Кислотность солевой вытяжки пахотных почв составила 4,8, в то время как залежные почвы имеют кислотность 4,9-5,0. В целом почвы относятся к среднекислым (4,6-5,0). Среди залежных почв самые кислые располагаются в залежи возрастом более 20 лет и имеют значение 4,9.

Гидролитическая кислотность на пахотных почвах (2,8 мг-экв/100г) выше, чем на залежных почвах. В то же время, наименьшую гидролитическую кислотность имеют залежи возрастом до 10 лет (2,6 мг-экв/100г).

Наибольшая сумма обменных оснований наблюдается у залежи возрастом от 10 до 20 лет (7,8 мг-экв/100 г). У остальных категорий земель разница между значениями не существенная.

На основании агрохимических показателей были рассчитаны коэффициенты почвенного плодородия.

На пашне коэффициент почвенного плодородия (0,62) ниже, чем на залежи возрастом до 10 лет (0,63) и возрастом от 10 до 20 лет (0,64). Это связано с высокой антропогенной нагрузкой на почвы, которые используются под пашню. На залежи возрастом более 20 лет коэффициент почвенного плодородия равен 0,61, что позволяет сделать вывод о том, что после перевода пашни в залежь за первые 20 лет происходит восстановление почвенного плодородия, но затем снова его снижение из-за отсутствия внесения органических и минеральных удобрений.

В зависимости от ряда морфологических признаков, в залежных почвах наблюдаются значительные изменения в структуре профиля, обусловленные усилением элювиальных процессов. Постепенно морфологические характеристики залежных почв становятся схожими с исходными целинными условиями, хотя полного восстановления не происходит. При этом остаются видимыми следы окультуривания, заметные по толщине гумусового горизонта и четким, ровным границам между ним и следующими слоями.

Исследования показали, что состав и свойства пахотных и залежных земель незначительно отличаются по физико-химическим показателям пахотного и старопахотного горизонтов. Вместе с тем, установлено, что строение профиля почв залежных земель претерпевают изменения в процессе длительности нахождения их в залежи. Отмечается, что мощность гумусового горизонта по мере увеличения срока залежи увеличивается, что свидетельствует о преобладании дернового почвообразовательного процесса. В то же время, отмечается и увеличение мощности и глубины залегания подзолистого горизонта в залежных землях, что свидетельствует о сложности генезиса дерново-подзолистых почв.

УДК 631.452

ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ТЁМНОЦВЕТНЫХ ПОЧВ КУНГУРСКО-КРАСНОУФИМСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Субботина М.Г.

ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, Пермь, Россия, subbotina@mail.ru

Темноцветные почвы Кунгурско-Красноуфимской лесостепной зоны представлены темносерыми, серыми и светлосерыми лесными почвами разной оподзоленности, чернозёмами оподзоленными в основном тяжёлого гранулометрического состава, редко глинистого и среднесуглинистого механического состава. Такие почвы обладают хорошей текстурой и агрохимическими свойствами и являются одними из лучших для выращивания полевых культур Среднего Предуралья. Агрохимические исследования состояния темноцветных почв проводили в 2023 г. на территории Пермского края Ординского муниципального района, вблизи д. Михино, д. Мерекаи, д. Шарынино.

Детальными исследованиями практических вопросов применения удобрений и мелиорантов, изучением генезиса и плодородия темноцветных почв на территории Пермского края ранее занимались Т.В. Вологжанина, Н.Я. Коротаев и другие сотрудники кафедры почвоведения Пермского СХИ. На современном этапе развития сельскохозяйственного производства Пермского края около 100 тысяч га с данными типами почв находятся под залежью уже порядка 12 лет и планируются к введению в ближайшей перспективе в структуру пахотных угодий для возделывания кормовых и зерновых культур. Отбор проб на глубину 25 см на заросших землях проводили с элементарных участков площадью около 8 га после разбивки кадастровых контуров электронной картографической основы в программе QGIS с использованием модуля «Разделитель полигонов». Всего отобрано 242 смешанных почвенных пробы с площади 1905 га.

В настоящее время на исследуемом участке большое влияние на образование поверхностных форм рельефа оказывает эрозионная деятельность, неотектонические движения и карстовые процессы. На отдельных полях отмечено выпирание горных пород, давние почвенные бурты. Древесная растительность представлена вторичными березовыми, березо-ольховыми, сосновыми и смешанными лесами. Изреженность и хорошая освещённость этих лесов на

отдельных участках способствует росту травянисто-луговой растительности, представленной ежой сборной, мятликом луговым, тимофеевкой, кострцом безостым, пыреем ползучим, манжеткой обыкновенной, рябиной дикой, клевером горным, ковылём, геранью луговой, дудником лесным, мышиним горошком и др.

По результатам лабораторных исследований на основные агрохимические показатели установлено, что на территории преобладают почвы со среднекислой и слабокислой реакцией среды (порядка 87 %), всего 5 % обследованной площади - сильнокислые.

Среднее содержание гумуса на оподзоленных чернозёмах составляло - 9,8 %, на тёмно-серых лесных почвах - 7,1 %, на серых лесных почвах - 5,1%, на светло-серых лесных почвах - 3,6 %. Большая часть площадей, 48 % от обследованных участков, имеют повышенную и высокую обеспеченность подвижным фосфором — 396 га и 517 га соответственно. Очень высокая обеспеченность подвижным фосфором отмечена на 135 га. Однако 26 % земель относятся к группе с низкой и очень низкой обеспеченностью фосфором и нуждаются в дополнительном внесении фосфорных удобрений в запас в дозах порядка 120-150 кг д.в./га под основную обработку.

Высокую обеспеченность подвижными формами калия имеют большинство обследованных площадей 1197 га (63%), среднее содержание на 242 га и 259 га (13%) нуждаются во внесении калия в повышенных дозах для пополнения калийного запаса. Высокое содержание подвижного фосфора и калия не характерно для оподзоленных черноземов и серых лесных почв данной территории. На исследуемых участках высокий фосфорный и калий фон сформировались за счёт предшествующего регулярного внесения высоких доз навозной жижи с фермы подсобного хозяйства.

В результате рационального использования темноцветных почв до перехода в залежь с внесением органических удобрений на преобладающей части исследованной территории сохраняется высокий уровень плодородия. Развитие вторичной древесной растительности, промывной водный режим, рельеф способствует выщелачиванию карбонатов и как следствие подкислению пахотного горизонта, снижению гумусированности.

УДК 631.4

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ПОЧВАХ, ОБРАБОТАННЫХ ГЛИОТОКСИНОМ

Тесля А.В.¹, Пошвина Д.В.¹, Гурина Е.В.¹, Яшников А.В.¹, Степанов А.А.¹, Васильченко А.С.¹

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, a.v.teslia@utmn.ru

Глиотоксин (ГТ) – вторичный метаболит, продуцируемый почвенными грибами рода *Apsergillus*, *Trichoderma*, стал вторым после пенициллина антибиотиком, открытым в 1930-х годах. В биологической защите растений глиотоксин-продуцирующие грибы используются как биопестициды. Однако, биологический контроль – это не только природоподобные средства борьбы с вредителями растений, но и создание плодородной и сбалансированной почвенной среды, оздоровление почвы. Важно понимать процессы, происходящие в почвенной среде, при попадании в нее агентов биоконтроля.

В рамках этого исследования проведена оценка содержания органического углерода и общего азота в почвах обработанных глиотоксином. Глиотоксин вносили в почву (дерново-подзолистые) в концентрациях 500 мкМ, 100 мкМ, 50 мкМ, 25 мкМ и 10 мкМ. Контролем послужила почва без глиотоксина. Содержание органического углерода и общего азота оценивали в динамике (на 1, 7, 14, 28, 60 и 90 день после внесения глиотоксина в почву). Внесение глиотоксина в почвенные образцы не повлияло за 24 часа инкубации на содержание органического углерода и составило в среднем $22,9 \pm 0,72$ г кг⁻¹. Однако, уже на 7-й день инкубации содержание органического углерода составило $22,6 \pm 0,13$ г кг⁻¹ в образцах с 500 мкМ глиотоксина, $24,4 \pm 1,99$ г кг⁻¹ в образцах с 100 мкМ ГТ, $23,3 \pm 1,02$ г кг⁻¹ – с 50 мкМ ГТ, $24,3 \pm 0,85$ – с 25 мкМ ГТ, $26,5 \pm 0,62$ – с 10 мкМ глиотоксина. На 14-е сутки

прирост в содержании органического углерода при сравнении с контролем был отмечен в образцах с концентрацией ГТ 500 мкМ (в 1,3 раза), 100 мкМ (в 1,1 раза) и 50 мкМ (в 1,0 раза). На 30-е сутки количество органического углерода в образцах с ГТ 500 мкМ, 100 мкМ, 50 мкМ и 25 мкМ снизилось до уровня 7-го дня и было в среднем таким же как в контроле, а в образцах с 10 мкМ ГТ, наоборот, увеличилось в 1,2 раза по сравнению с контролем ($p < 0,05$). К концу эксперимента содержание органического углерода было наибольшим в образцах с 100 мкМ ГТ (выше контроля на 25,8 %, $p < 0,05$), а в остальных образцах вместе с контролем органический углерод был в среднем на уровне $25 \pm 0,88 \text{ г кг}^{-1}$.

Контрольные почвенные образцы и образцы, обработанные разными концентрациями ГТ, по содержанию азота практически не различались между собой на протяжении всего эксперимента, а те различия, которые были отмечены статистически недостоверны. Но, если сравнивать начало инкубации и конец (90 дней эксперимента), отмечается некоторый рост количества общего азота в почве. В контрольных образцах содержание общего азота увеличилось на 97,1 % ($p < 0,005$), в образцах с 500 мкМ ГТ – на 43,9 % ($p = 0,18$), с 100 мкМ ГТ – на 148,1 % ($p < 0,05$), с 50 мкМ ГТ – на 71,6 % ($p < 0,05$), с 25 мкМ ГТ – на 95,6 % ($p = 0,18$), с 10 мкМ ГТ – на 55,3 % ($p = 0,18$).

Таким образом, глиотоксин не только не оказал токсического действия на микробиом почв, но и, напротив, оказался катализатором различных метаболических процессов, ассоциированных с плодородием. Наши дальнейшие исследования будут посвящены детализации механизмов, лежащих в основе выявленного феномена.

Работа выполнена при поддержке РФФИ 23-24-00648 «Особенности функционирования микробного сообщества и ферментативной активности почв при воздействии глиотоксина почвенных грибов».

УДК 631.861; 631.811

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИОКОМПОСТА НА НЕКОТОРЫЕ АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ОСУШАЕМОЙ ПОЧВЫ

Трешкин И.А., Рабинович Г.Ю.

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Тверь, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Птицефабрики в процессе производства мяса и яиц образуют массу побочного продукта животноводства (ППЖ) в виде помета. Кроме свежего помета в помехранилищах российских птицефабрик находится огромная масса уже перепревшего помета 10-20 летней давности. В состав помета входят как основные элементы питания (азот, фосфор и калий), так и полный комплекс микроэлементов, а также все незаменимые аминокислоты, регуляторы роста, в том числе, ауксины и многие витамины – продукты жизнедеятельности обитающей в пометной толще микрофлоры. Большое значение имеет тот факт, что все питательные вещества в помете находятся в усвояемой для растений форме.

Современные органические удобрения, получаемые на основе помета, должны обладать положительными свойствами как органических, так и минеральных удобрений, а также содержать активный микробный комплекс. Сохранить ценные питательные свойства птичьего помета позволяют экспресс-способы рециклинга и важнейшая из них – твердофазная аэробная ферментация (ТАФ). Технология ТАФ, разработанная ВНИИМЗ для промышленного производства, гарантирует отсутствие в продукте биоконверсии болезнетворных микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов, всхожих семян сорных растений, неприятного запаха.

Торф, как традиционный компонент органических удобрений (компостов), способный поглощать газ и излишнюю влагу, уходит в прошлое. В большинстве регионов нет

торфоразработок, а имеющиеся обводнены. Транспортная составляющая по доставке торфа к месту использования или переработки делает его использование экономически невыгодным. Поэтому в наших исследованиях мы заменили торф в процессе производства нового удобрения на более дешевые и доступные древесные опилки.

Цель настоящего исследования – протестировать полученный модифицированный биокомпост в полевых условиях и выявить его влияние на некоторые агрохимические показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой осушаемой почвы.

Результаты исследований. Для проведения эксперимента использовали базовый биокомпост (компост многоцелевого назначения = КМН) и новый модифицированный биокомпост (БК), полученный путем модификации базовой технологии ТАФ из разновозрастных куриных пометов (6 и 24 месяцев), взятых в соотношении 3:1, с добавлением минимального количества опилок (10%). Удобрения вносили сплошным способом в начале севооборота под культивацию в расчетных дозах: КМН 15 т/га, БК 15, 10 и 5 т/га. Первичные испытания проводили в 2023 году на картофеле сорта «Королева Анна» в звене развернутого зернопропашного севооборота: картофель – овес – травы.

КМН и БК отличались друг от друга по биогенным элементам незначительно. КМН содержал $N_{\text{общ}}$ – 3,3%; P_2O_5 – 1,9%; K_2O – 1,6%; pH – 5,6; $C_{\text{общ}}$ – 20,1%; влажность – 45,4%.

Содержание элементов питания в БК составляло $N_{\text{общ}}$ – 3,8%; P_2O_5 – 2,1%; K_2O – 2,45%; pH – 8,5; $C_{\text{общ}}$ – 33,7%; влажность – 55,2%. БК содержал больше фосфора и калия из-за повышенной, чем при получении КМН, концентрации помета в смеси. За счет добавления трудно разлагающихся опилок содержание $C_{\text{общ}}$ в БК оказалось выше. Опилки также хуже поглощают влагу, поэтому влажность БК оказалась выше. БК отличался от КМН и довольно высокой щелочной реакцией.

Внесение КМН и БК позволило обеспечить растения нитратным и аммиачным азотом на протяжении вегетационного периода (табл.). БК во всех дозах обеспечивал большее, по сравнению с КМН, содержание нитратного и аммиачного азота в пахотном горизонте – 11,5...18,7 и 98,7...117,8 мг/кг соответственно и в подпахотном – 8,7...9,6 мг/кг и 67,6...69,6 мг/кг соответственно. Микробиологическая активность модифицированного удобрения позволила дополнительно мобилизовать азот из органического вещества пахотного горизонта почвы. В то же время подпахотный горизонт не имеет явных отличий по содержанию азота относительно контрольного варианта.

Таблица. Влияние КМН и БК на агрохимические показатели дерново-подзолистой осушаемой почвы (усредненные данные по полевому сезону)

Элементы питания	Варианты				
	1. Без удобрений	2. КМН 15 т/га	3. БК 15 т/га	4. БК 10 т/га	5. БК 5 т/га
NO_3 , мг/кг	7,4/9,0	11,4/8,9	18,7/9,6	14,3/9,1	11,5/8,7
NH_4 , мг/кг	86,9/68,4	94,9/65,9	117,8/67,6	98,7/68,8	102,5/69,6
P_2O_5 , мг/кг	164,9/151,1	208,7/152,6	233,5/154,3	216,4/150,2	192,2/153,7
K_2O , мг/кг	82,5/87,5	109,5/94,0	138,0/94,5	110,0/90,0	92,0/89,0
pH	5,4/5,3	5,5/5,4	5,6/5,5	5,6/5,6	5,6/5,5

Примечание: в пахотном горизонте / в подпахотном горизонте

Почвы участка были зафосфачены, что отразилось на фосфорном режиме. Содержание подвижного фосфора было высоким в почве всех вариантов опыта. Внесение БК во всех дозах позволило дополнительно мобилизовать фосфор из почвы (+27,3...68,6 мг/кг). Использование КМН повысило его содержание на 43,8 мг/кг. Подпахотный горизонт также, как и в случае с азотом, отличался от контрольного варианта на уровне статистической погрешности. Но даже в подпахотном горизонте режим содержания фосфора был на высоком уровне.

Обеспеченность почвы калием была средней во всех вариантах опыта. Только внесение БК в дозе 15 т/га увеличило его содержание до повышенного – 138 мг/кг. Остальные дозы обоих удобрений не способствовали появлению существенных различий в содержании калия, оно варьировало в пределах 92...109,5 мг/кг. На всех удобренных вариантах, кроме БК 5 т/га, калий выносился в нижележащие слои более интенсивно.

Щелочная среда БК позволила перевести почвы участка из категории слабокислых в разряд «близкие к нейтральным». Кислотность почвы уменьшилась на 0,3 единицы относительно контроля в пахотном горизонте и на 0,2 – в подпахотном. Таким образом, БК по своей природе обладает раскисляющими свойствами.

Органические удобрения обеспечили высокую продуктивность при выращивании картофеля. Варианты опыта с БК способствовал прибавке урожайности картофеля на 86,6-25,6% относительно контроля. Наибольшая доза обеспечивала и наибольшую прибавку урожая. Увеличение урожайности картофеля от внесения КМН составило 46,6%. БК в дозах 15 и 10 т/га относительно КМН обеспечил приrost урожайности на 27,3 и 11,9%.

Заключение.

1. Использование в максимальном объеме дешевого ППЖ (птичьего помета), имеющегося в России в больших количествах, отказ от дорогостоящего ингредиента торфа, а также введения в процесс биоконверсии сравнительно дешевого отхода лесопереработки (опилок) в очень небольшом объеме позволяет получить высокоэффективное органическое удобрение.
2. Применение БК позволило увеличить обеспеченность осушаемой дерново-подзолистой почвы минеральным азотом на 20...45%, подвижным фосфором на 17...42% и обменным калием на 12...67%, а также раскислить почвенный раствор на 0,3 единицы рН.
3. Апробация биокомпоста показала превалирование урожайности картофеля относительно вариантов без удобрений и КМН на 87% и 22% соответственно.
4. В перспективе предполагается использование нового биокомпоста не только в качестве высокоэффективного удобрения, но и в качестве компонента для приготовления сбалансированных по составу почвогрунтов различной ориентации.

УДК 631.53.041

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Федоренко А.Н., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, fedorenko-N13@yandex.ru

Одним из методов минимального воздействия техники на почву является система нулевой технологии обработки (No-Till, прямой посев). Преимущества данной технологии состоят, прежде всего, в экономической выгоде для сельскохозяйственного предприятия: экономии ресурсов и повышении рентабельности сельского хозяйства. Однако не меньшую роль играет улучшение экологического состояния почв: сохранение и восстановление плодородия; снижение эрозии; контроль сорняков; увеличение влажности почв; снижение зависимости от погодных условий; улучшение показателей продуктивности почв (Акименко и др., 2016; Мокриков и др., 2017, 2020). При использовании нулевой технологии отмечено снижение количества моторного топлива по сравнению с традиционной обработкой почвы в 2,5–4 раза при минимальной обработке почв (Мокриков и др., 2017). Несмотря на эффективность зарубежной альтернативной технологии обработки почвы, на территории нашей страны возникает проблема неоднозначности эффективности ее использования из-за климатических особенностей, вида почвы, севооборота, агротехники. Активность почвенных ферментов может служить индикатором качества и плодородия почв в условиях сельскохозяйственной нагрузки (Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2014, 2015; 2021). Цель исследований заключалась в оценке ферментативной активности почв агроценозов в условиях применения прямого посева.

Объектом исследований были почвы агроценозов хозяйства ИП Мокриков Василий Иванович, которое расположено в Октябрьском районе Ростовской области на площади 5500 га. Поля хозяйства ИП Мокриков обрабатываются более 15 лет по технологии прямого посева. Почвенный покров представлен черноземом обыкновенным карбонатным. Полевые исследования почв были проведены в рамках комплексных эколого-биологических исследований территорий в 2021-2023 гг. Исследование почв осуществлялось на четырех опытных полях. Поля были заняты различными сельскохозяйственными культурами, возделываемыми по технологии прямого посева (No-Till), при которой минимизируется воздействие машин на почву, и по традиционной технологии с отвальной вспашкой. Исследуемые поля различались прежде всего количеством стерни и растительных остатков на поверхности почв при разной обработке. В качестве диагностических показателей использовали активность ферментов, относящихся к двум классам: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназы) и гидролаз (инвертаза, уреазы, фосфатаза).

В результате проведенных исследований за период с 2021 по 2023 г. выявлено закономерное влияние применения прямого посева на ферментативную активность почвы. Любое агрогенное воздействие приводит к снижению активности ферментов по сравнению с эталонной почвой ООПТ «Персиановская степь». Однако прямой посев оказывает меньшее снижение активности ферментов по сравнению с традиционной вспашкой. Активность оксидоредуктаз (каталаза и дегидрогеназы) менее чувствительна к типу землепользования, чем гидролаз (инвертаза, уреазы и фосфатаза). В ходе корреляционного анализа была выявлена тесная взаимосвязь между активностью инвертазы и плодородием почв, поэтому данный показатель может служить индикатором эффективности применения различных видов землепользования. Почвы с применением прямого посева имели высокие значения ИПБС по сравнению с традиционной обработкой, независимо от глубины отбора образцов. Почвосберегающая технология прямого посева показала свою высокую эффективность по сравнению с традиционной технологией обработки с регулярным перемешиванием почвы в результате вспашки и культиваций.

Исследования выполнены в рамках научно-исследовательского проекта программы Приоритет 2030 Южного федерального университета «Молодежная лаборатория регенеративного земледелия» (СП-12-24-03).

УДК 631.81

ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ПОЧВЕННУЮ МИКРОФЛОРУ И УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Фомичева Н.В., Анциферова О.Н.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, nvfomi@mail.ru

В настоящее время гуминовые удобрения и препараты занимают устойчивую нишу на потребительском рынке. Сотрудники ВНИИМЗ (филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева») несколько лет работают над получением и применением жидких гуминовых препаратов для растениеводства. Сырьем для их создания служит торфоновозная смесь, являющаяся остатком при производстве другого жидкого продукта, разработанного во ВНИИМЗ. В основе технологии получения гуминовых препаратов лежит щелочная экстракция (рабочее название препарата БоГум) или щелочная экстракция, сопряженная с воздействием ультразвука (рабочее название препарата н-БоГум). Основные характеристики гуминовых препаратов:

- БоГум – рН не более 9, гуминовых кислот не менее 10 г/л, сухой остаток не менее 20 г/л, общее микробное число не менее 1×10^6 КОЕ/мл, эффективный диаметр частиц 374,4 нм;
- н-БоГум – рН не более 9, гуминовых кислот не менее 13 г/л, сухой остаток не менее 25 г/л, общее микробное число не менее 1×10^6 КОЕ/мл, эффективный диаметр частиц 311,8 нм.

При выращивании различных сельскохозяйственных культур были установлены оптимальные дозы и концентрации рабочих растворов указанных препаратов, определено их влияние на почвенную микрофлору и формирование урожайности.

Цель работы – определить взаимосвязь между различными технологическими приемами применения гуминовых препаратов, доминирующей почвенной микрофлорой и урожайностью сельскохозяйственных культур.

Рассмотрим результаты применения гуминовых препаратов в трех полевых опытах выращивания сельскохозяйственных культур.

В течение трех лет проводилась апробация гуминового препарата н-БоГум в мелкоделяночном опыте по выращиванию картофеля сорта Скарб на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (pH_{KCl} 4,95-5,05; содержание гумуса – 2,0-2,3 %, НЛг – 44,8-45,5 мг/кг, P_2O_5 – 205-230 мг/кг, K_2O – 135-182 мг/кг). Гуминовый препарат применяли для обработки клубней картофеля (1 %, норма расхода рабочего раствора 50 л/т) с последующей двукратной некорневой обработкой растений (1 л/га, норма расхода рабочего раствора 300 л/га) в фазы всходов и бутонизации-начала цветения.

Проводился также трехлетний полевой опыт по возделыванию яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (pH_{KCl} 4,8-5,0; содержание гумуса – 2,1-2,5 %, НЛг – 35-38 мг/кг, P_2O_5 – 176-190 мг/к.; K_2O – 234-247 мг/кг), где изучалось влияние различных технологических приёмов применения БоГум – это обработка семян перед посевом (1 % или 2 %, норма расхода рабочего раствора 20 л/т), двукратная некорневая обработка вегетирующих растений пшеницы в фазы кущения и колошения (1 л/га, норма расхода рабочего раствора 300 л/га) и совмещение указанных приёмов.

На низинной торфяной почве (pH_{KCl} 5,3-5,5; содержание углерода – 38-41 %, P_2O_5 – 400-430 мг/кг, K_2O – 300-350 мг/кг) Дмитровского отдела ВНИИМЗ проводился двухлетний мелкоделяночный опыт по выращиванию моркови сорта Карини. БоГум использовали в качестве трехкратной некорневой обработки вегетирующих растений моркови (1 л/га, норма расхода рабочего раствора 300 л/га).

Численность доминирующих физиологических групп почвенных микроорганизмов определяли классическим методом предельных разведений с посевом на твердые питательные среды: микроорганизмы, использующие органический азот – на питательной среде МПА, использующие минеральный азот – на КАА и мобилизующие органофосфаты – на питательной среде Менкиной. Кроме этого, для оценки интенсивности и направленности процессов в почве использовали расчетный коэффициент минерализации K_m по азоту (КАА/МПА).

В фазу всходов можно оценить влияние обработки семенного материала гуминовыми препаратами на почвенную микрофлору. Определено, что только при обработке семян яровой пшеницы более концентрированным (2 %) рабочим раствором БоГум было получено статистически значимое увеличение исследуемой почвенной микрофлоры – на 29 %. В других рассмотренных опытах доминирующая почвенная микрофлора увеличивалась, но статистически незначимо.

Микробиологические исследования, проведенные в период активного формирования репродуктивных органов (зерна, клубней), достоверно подтверждали значимое увеличение численности доминирующей микрофлоры почвы в вариантах с применением препаратов БоГум и н-БоГум. Например, при выращивании картофеля численность микроорганизмов, использующих минеральный азот и мобилизующих органофосфаты, превышала контроль на 45 и 75 % соответственно. В опыте с яровой пшеницей это увеличение составило в 1,9 и 1,3 раза соответственно.

Более высокая численность агрономически значимой микрофлоры в опытных вариантах по сравнению с контрольным свидетельствовала об активно протекающих почвенных процессах, что способствовало формированию лучшего урожая: в среднем за три года прибавка урожая картофеля в результате применения гуминового препарата н-БоГум

составила 9,2 %; прибавка урожая яровой пшеницы в варианте с совмещением двух технологических приемов применения БоГум (обработка семян 1% с последующей двукратной некорневой обработкой) составила 14,8 %, а с обработкой семян только 1% рабочим раствором БоГум – 12,9 %, что признано более целесообразным с экономической точки зрения.

Торфяные почвы имеют сложный многокомпонентный состав. Почвенная микрофлора очень активна и в среднем за два года не получены статистически значимые различия в численности рассматриваемых групп микроорганизмов. Однако в середине вегетации значение условного коэффициента минерализации в опытном варианте было существенно выше контрольного варианта. Усиление почвенных минерализационных процессов способствовало переводу органического азота торфяной почвы в его минеральную форму, что, несомненно, отразилось на урожайности моркови, прибавка которой составила 13,4 %. Таким образом, мы видим, что независимо от технологического приема использования гуминовых препаратов БоГум и н-БоГум урожайность выращиваемых культур повышалась, что сопровождалось статистически значимым увеличением численности доминирующей почвенной микрофлоры в период активного формирования репродуктивных органов растений.

УДК:631.42:631.43:631.6

АГРОХИМИЧЕСКОЕ И МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ УЗБЕКИСТАНА

Холикулов Ш.Т., Ортиков Т.К., Гозиев Т.Ч.

Самаркандский государственный университет, Самарканд, e-mail: kholikulov48@mail.ru; ortikovt@mail.ru

Агрохимическое и мелиоративное состояния почвы имеют большое значение в плодородии почвы и получении высоких и качественных урожаев сельскохозяйственных культур.

Мелиоративное состояние почв Самаркандской области в первую очередь характеризуется содержанием водорастворимых, особенно токсичных солей. В Самаркандской области засоленные почвы занимают небольшие территории, они в основном распространены в поймах реки Зарафшан. В этих луговых почвах отмечается засоление почвы карбонатом магния. Этот вид засоления обнаружил профессор Самаркандского сельскохозяйственного института М.Д.Кугучков в Зеравшанской и Ферганской долинах, в основном луговых почв. Из автоморфных почв большое распространение имеют сероземы. Сероземные почвы Самаркандской области не имеют проблем, связанных с их мелиоративным состоянием. Агрохимические свойства почвы имеют большое значение в питании растений и создании условий для роста и развития культур. Особенно это касается содержанию гумуса и подвижных питательных веществ. Поэтому изучение агрохимического и мелиоративного состояний почв является актуальным.

Исследование агрохимического свойства почв Самаркандской области показывает, что содержание гумуса и подвижных форм фосфора очень низкое, калия – низкое и среднее. Это отмечается в типичном и светлом сероземах, лугово-сероземных и луговых почвах. В отдельных случаях содержание подвижного фосфора составляет 1-5 мг/кг почвы, что говорит об очень плохом фосфатном режиме почвы и серьезной нехватке фосфора для питания растений. В большинстве случаев содержание подвижного фосфора составляет 10-20 мг/кг почвы. Даже такое количество фосфора плохо обеспечивает потребности растений в этом элементе. В Самаркандской области под различные культуры (хлопчатник, озимая пшеница, овощные и плодовые культуры) вносят 125-175 т/га фосфорных удобрений в пересчете на д.в. и поэтому всегда создается положительный баланс фосфора в почве. Но, несмотря на это, содержание подвижного фосфора не увеличивается в почве, а становится низким. Это связано с высокой карбонатностью почв Самаркандской области, где

содержание карбонатов кальция и магния в сумме достигает до 20-30%. Кроме того, высокое содержание кальция в почве, в том числе в почвенном растворе и почвенно-поглощающем комплексе способствует переходу подвижного фосфора минеральных удобрений к неподвижному состоянию. Поэтому в почвах Самаркандской области, несмотря на внесения высоких норм фосфорных удобрений, не увеличивается содержание подвижных форм фосфора из года в год.

Содержание обменного калия в почвах Самаркандской области, в основном, колеблется в пределах 100-250 мг/кг почвы, в редких случаях бывает ниже 100 мг/кг почвы. Содержание обменного калия существенно зависит от механического состава почвы. По мере потяжеления механического состава почвы наблюдается увеличение количества обменного калия. В почвах с легким механическим составом содержание обменного калия очень низкое. Эти почвы требуют внесения высоких норм калийных удобрений. Но, с другой стороны, у этих почв очень низкая емкость поглощения. При высокой дозе внесения калия удобрений он не полностью поглощается коллоидами почвы, что способствует вымыванию его из почвы. Это особенно актуально, когда 50% калийных удобрений вносится под зябь при возделывании хлопчатника и 100% - под озимую пшеницу.

Содержание аммонийного и нитратного азота в почвах Самаркандской области составляет в сумме 20-30 мг/кг почвы, их содержание меняется в течение года в зависимости от температуры почвы и воздуха. Рано весной быстро прогреваются легкие по механическому составу почвы, поэтому в этих почвах содержание минерального азота, в том числе нитратного, выше, чем в почвах с тяжелым механическим составом. Азотное питание имеет большое значение для растений, потребность растений в азоте очень высока. Но в почвах Самаркандской области наблюдается острая нехватка минерального азота для сельскохозяйственных культур при их естественном питании. Поэтому при возделывании сельскохозяйственных культур в этих почвах азотные удобрения применяются как фактор находящиеся в минимуме в очень высоких дозах – 200-250 кг/га в д.в.

Содержание гумуса в различных типах почв Самаркандской области в большинстве случаев в среднем составляет 0,8-1,2%. Такое низкое содержание гумуса отрицательно действует на многие свойства этих почв. Это отражается и в агрохимических, и в агрофизических свойствах почвы. В почвах Самаркандской области количество азота тесно связано с содержанием гумуса. С увеличением содержания гумуса повышается количество валового азота, что связано с сохранением азота в почве в основном виде органических веществ. С увеличением содержания гумуса повышается количество валового азота. Из-за низкого содержания гумуса показатели физические свойства этих почв далеки от оптимального. Особенно это наблюдается в объемной массе, твердости почвы и воздухообмене.

Таким образом, агрохимическое свойство почв Самаркандской области имеет свои особенности, что надо будет учитывать при возделывании сельскохозяйственных культур. Сероземные почвы Самаркандской области имеют благополучное мелиоративное состояние. Среди сероземов почти не встречаются засоленные почвы. Показатель плотного остатка этих почв колеблется в пределах 0,050-0,270%, что соответствует незасоленным почвам.

Содержание хлорид ионов – 0,004-0,01%, сульфатов – 0,012-0,118%. Содержание иона натрия, определяемого в водной вытяжке, меньше, чем 0,23%, что оказывает отрицательное действие на мелиоративное состояние сероземов Самаркандской области. Гидроморфные почвы Самаркандской области, в основном, незасолены. Но среди этих почв встречаются слабозасоленные почвы. Кроме того, встречаются луговые и лугово-сероземные почвы, засоленные карбонатами магния. Эти почвы при насыщении влагой приобретает черную окраску (“черное” засоление). В почвенно-поглощающем комплексе этих почв доля катиона магния относительно выше по сравнению с другими почвами региона. Для улучшения мелиоративного состояния этих почв надо проводить гипсование или применять минеральные удобрения с высоким содержанием кальция, таких как суперфосфат, кальциевая селитра. В западной части Самаркандской области встречаются гипсоносные

почвы. Такие почвы чаще всего встречаются среди светлых сероземов. Высокое содержание гипса отрицательно действует на физические и химические свойства этих почв. Они требуют внесения органических удобрений, что активизирует микроорганизмы и микробиологические процессы, увеличивает температуры почвы, которые увеличивают растворимость гипса и его вымывания в иллювиальный горизонт. С увеличением давности орошения содержание гипса в этих почвах уменьшается. По-видимому, при орошении происходит постепенное вымывание гипса в иллювиальный горизонт этих почв. Таким образом, почвы Самаркандской области в большинстве случаев имеют хорошее мелиоративное состояние, засоленные почвы встречаются редко, в основном, среди гидроморфных почв.

УДК:631.879

ВЛИЯНИЕ ЛИГНОСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ НА СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ПОЧВЫ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА

Юркевич М.Г., Попова Т.Н., Икконен Е.Н., Курбатов А.А.

КарНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail svirinka@mail.ru

Решение задачи повышения производительности сельского хозяйства, наряду с другими мерами, может быть связано с поиском новых приемов и способов повышения эффективности использования почв, в том числе и создание искусственно улучшенных почв. Научно обоснованное создание искусственной почвы позволит существенно расширить базу сельскохозяйственного производства в северных районах страны, где в связи со сложными климатическими условиями естественное восстановление плодородного слоя происходит десятилетиями. Создание высокопродуктивных искусственно улучшенных почв и снижение объемов различных видов отходов целлюлозно-бумажной промышленности способствует развитию высокопродуктивного, экологически чистого сельского хозяйства.

Объектами исследований служили дерново-подзолистые минеральные почвы, отходы целлюлозно-бумажной промышленности (лигносульфонат натрия), агрокультуры семейств Cucurbitacea. Для модельных экспериментов использовали дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава (песчаную, суглинистую, глинистую) и лигносульфонат натрия (ЛН). Почвы сушили до абсолютно сухого веса, просеивали через сито 2 мм, и смешивали в различных концентрациях, взятых по весу почвы (0%, 1%, 2.5%, 5%, 10%) с лигносульфонатом натрия. Почвенный субстрат инкубировали в сосудах объемом 2 литра, в четырехкратной повторности, в контролируемых условиях и при еженедельном перемешивании в течение 3-6-12 месяцев при постоянной влажности (70 %) и температуре воздуха (+23°C).

После окончания периода инкубации анализировали агрохимические свойства созданных почвогрунтов. Водный и солевой рН в исходных почвенных образцах и отходах определяли потенциометрический. Содержание общего углерода определяли методом высокотемпературного каталитического сжигания. Азот и фосфор определяли методом сжигания по Кьельдаю со спектрофотометрическим окончанием на спектрофотометре. Содержание металлов определяли атомно-эмиссионным, атомно-абсорбционным методом на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Подвижные формы тяжелых металлов определяли с использованием ацетатно-аммонийного буферного раствора методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

Оценивали влияние лигносульфоната натрия на устойчивость растений к действию стрессовых факторов, таких как низкая температура роста и недостаток элементов минерального питания для растений, что позволило выявить не только способность лигносульфоната к повышению устойчивости растений к стрессу различной природы, но также оценить влияние условий среды на физиологические реакции растений на ЛС.

Устойчивость растений оценивали с помощью уникального комплекса физиологических

методов, таких как определение устойчивости фотосинтетического аппарата и дыхательного метаболизма к стрессовому воздействию, флуоресценцию хлорофилла, изучение целостности и проницаемости клеточных мембран для электролитов, а также активизацию альтернативной оксидазы, обеспечивающей митохондриальный поток электронов по альтернативному пути дыхания.

Анализ полученных данных позволил установить, что внесение лигносульфоната (ЛС) натрия в суглинистый почвогрунт в малых концентрациях (1 и 2.5 %) существенно повышало содержание в нем калия (от 169.7 мг/кг в контроле до 389.1 – 431.6 мг/кг соответственно) и обменных катионов, но снижало содержание азота независимо от внесенной дозы отхода. Концентрация Mg, Ca и Na возрастала в среднем в 4.3, 2.3 и 5.7 раз, соответственно, что оказывало подщелачивающее действие на почву. Реакция почвенного раствора увеличивалась на 0.7 – 0.8 единиц. При концентрации ЛС в почве 2.5% величина рН солевого раствора возрастала с 4.93 до 6.19. При этом существенно увеличивалась концентрация буферного раствора, что проявлялось в физиологическом отклике растений. Значительное снижение содержания азота в почве влияло на долю его инвестирования в процесс фотосинтеза и скорость роста растений.

На глинистом почвогрунте внесение ЛС снижало содержание в ней калия пропорционально концентрации вносимого отхода с 276.4 мг/кг в контроле до 77.6 мг/кг при максимальной концентрации (10 %). С увеличением дозы ЛС содержание Na, Ca, Mg возрастало, а N и P не изменялось.

Внесение ЛС в песчаный почвогрунт снижало в 1.2-1.5 раз содержание в нем K при малых дозах внесения, увеличивало концентрацию P, Mg, Ca и Na соответственно в 1.2, 4.0, 2.5 и 6.0 раз и не влияло на содержание N и C.

Проведены исследования по изучению изменения содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистой суглинистой почве при внесении лигносульфоната натрия. Исследования показали, что в ряду изученных валовых (Fe, Mn, Cu, Zn, Ti, Al, Ni, Co, Cr, Cd, Mo) и подвижных форм (Cu, Zn, Ti, Al, Ni, Co, Cr, Cd, Mo) металлов корреляционная связь с дозой добавки не обнаружена. Но прослеживается положительная зависимость в отношении валовой и подвижной форм Pb и подвижных форм Fe и Mn ($r = 0,9$), что объясняется их исходным содержанием в промышленном растительном сырье. Следует отметить, что содержание всех форм изученных металлов не превышало требования санитарно-гигиенических нормативов и геохимического фона, характерного для почв Карелии. В связи со значительным увеличением буферности почвенного раствора, высокий уровень магния, кальция и особенно натрия в суглинистой и глинистой почве содействовал изменению агрегатного состояния почвы, её уплотнению и приобретению свойств, характерным солонцам. Данный факт ингибировал процессы роста и развития растений огурца, снижало активность фотосинтетического аппарата и увеличивало долю дыхательных затрат от фотосинтеза. Внесение лигносульфоната в почву, дефицитную по элементам минерального питания, снижало токсичные уровни накопления растениями большинства микроэлементов. В условиях высокого уровня питания растений лигносульфонат снижал эффективность использования растениями азота, фосфора, калия, кальция, магния и железа на фотосинтез огурца, но повышал фотосинтетическую эффективность марганца и воды. Лигносульфонат не влиял на устойчивость растений огурца к действию низкой температуры и не способствовал восстановлению и оптимизации физиологических процессов растений в условиях дефицита питания. Определено, что ЛС значимо изменял накопление растениями макро- и микроэлементов, причем направленность и интенсивность данного изменения зависели от того при высоком (ВП) или низком (НП) уровне доступности элементов минерального питания произрастали растения. В отношении некоторых элементов это влияние оказалось разнонаправленным. При ВП внесение ЛС в почву в низкой концентрации (1%) увеличивало содержание таких макроэлементов как N, P и Ca, а его внесение в высокой концентрации (5 и 10%) снижало содержание Ca и Mg. В условиях НП ЛС заметно снижал

содержание N уже в наименьшей из изученных концентраций. Независимо от уровня питания растений ЛС снижал содержание большинства исследованных микроэлементов и тяжелых металлов, но значимо повышал содержание Na в листьях. Получены уникальные результаты, которые показали, что ухудшение условий питания растений вызывает накопление в них токсичных уровней микроэлементов, а внесение в почву ЛС способствует восстановлению их оптимальных уровней. Механизмы данного влияния ЛС пока неизвестны и требуют тщательного осмысления. К негативному влиянию ЛС на химический состав листа следует отнести повышение им до токсичных значений содержания в листьях растений Na.

Результаты данной работы позволили сделать уникальный вывод о том, что с ухудшением условий питания растений «важность» каждого элемента в процессах роста и развития растений повышается. При этом интересно, что направленность и сила взаимосвязи между накоплением растениями элементов и биомассы зависит от общего уровня питания растений.

(G) V КОМИССИЯ. ГЕНЕЗИС, ГЕОГРАФИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ

УДК 651.45

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В.

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, e-mail tanik63@mail.ru

В Республике Беларусь рациональное использование почв как основополагающей составляющей земельных ресурсов, является приоритетным направлением политики устойчивого развития и обеспечения экологической безопасности государства. Объективное отображение почвенного покрова сельскохозяйственных земель напрямую зависит от качества научно-методического сопровождения данного вида работ. Беларусь единственная на постсоветском пространстве республика, в которой почвенно-картографические работы продолжаются с 1957 года. Уже проведено 2 тура крупномасштабных почвенных обследований сельскохозяйственных земель (1957-1966 гг., 1966-1984 гг.). С 1984 года по настоящее время продолжают работы по корректировке материалов II тура почвенного картографирования. Начиная с 2006 года, они ведутся на осушенных сельскохозяйственных землях, в компонентном составе которых преобладают торфяные почвы различного генезиса и мощности органогенной толщи, а также дегроторфяные почвы (с содержанием органического вещества <50 %). С 2021 года обследуются почвы сельскохозяйственных земель, подверженные водной и ветровой эрозии. Научной основой для проведения этих работ является классификация почв (Смеян Н.И., 1980), которая базируется на профилно-вещественно-генетическом принципе с учетом природных и антропогенных факторов почвообразования. При ее построении использована полная таксономическая система: ряд-класс-тип-подтип-род-вид-разновидность. Методической основой проводимых исследований служит системный подход на основе современного изучения строения, состава, свойств почв. Главным общепринятым принципом диагностики почв в полевых условиях является профилно-генетический, предполагающий разделение почв на основе строения профиля как системы соподчиненных генетических горизонтов, взаимосвязанных и взаимообусловленных в своем генезисе и сформированных при совокупном влиянии 6 факторов почвообразования (время, климат, рельеф, почвообразующие породы, растительность, хозяйственная деятельность человека). Это позволяет рассматривать почву как единое природное целое на основе анализа и характеристики ее свойств и признаков (морфологических, физических, физико-химических). Антропогенно-преобразованные почвы диагностируются по наличию качественно и количественно определенных типодиагностических горизонтов (Смеян Н.И., Цытрон Г.С., 2007).

Для унификации описания почв в республике разработан «Примерный номенклатурный список почв для целей крупномасштабного почвенного картографирования», в который включено более 430 почвенных разновидностей различного генезиса, гранулометрического состава, строения почвообразующих и постилающих пород, несущих различную степень антропогенной трансформации. Усовершенствована индексировка горизонтов для дерново-подзолистых, дерново-подзолистых заболоченных и торфяных почв, разработаны новые типодиагностические горизонты для антропогенно-преобразованных почв. Все имеющиеся в республике методические указания и методики, в которых изложены требования к проведению полевого и камерального этапов работ, впервые собраны и систематизированы в ТКП «Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт. Порядок и технология работ».

В результате многолетних крупномасштабных исследований получены разновременные почвенные карты (М 1:10000) в разрезе сельскохозяйственных организаций, очерки, записки, агрохимические картограммы, картограммы агрогрупп и рационального использования

земель. На территорию республики составлены 114 (из 118) районных (М 1:50000), 6 областных (М 1:200000) почвенных карт и республиканская почвенная карта (М 1:600000, 1:1250000), для районов Гомельской и Могилевской областей, подвергшихся радиационному загрязнению, составляются районные почвенные карты (М 1:90000), на основе которых ведется разработка мероприятий по оптимизации землепользования в этих районах. Все эти почвенные карты формируют уникальный картографический фонд, применяемый для исследований вопросов трансформации и эволюции почв, создания специализированных геоинформационных систем в республике. Разновременные данные о площадях почв сельскохозяйственных земель по двум турам обследования обобщены в виде сборников таблиц по административным районам, областям и республике (1968, 1979, 1988, 1990, 2000 гг.), в которых представлены сведения по типовой принадлежности, степени увлажнения, гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород. В 2017 г. в практическом пособии «Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» на видовом уровне классификации обобщены площадные данные о торфяных и дегроторфяных почвах сельскохозяйственных земель административных районов, областей и республике в целом.

Для повышения профессионального уровня специалистов, осуществляющих почвенно-картографические работы и улучшения качества почвенных карт, ежегодно ведущими научными сотрудниками Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси проводятся научно-методические учебные и консультации по аспектам проведения полевого и камерального этапов работ, вопросам диагностики почв с учетом региональных особенностей их формирования (в период с 1997 по 2024 гг. проведено 27 республиканских учеб, из них 20 в полевых условиях в различных почвенно-экологических районах республики), а также по вопросам интерпретации данных лабораторных анализов почв и создания цифровых почвенных карт (слоя «Почвы» в системе ЗИС). Разработаны и изданы уникальные справочные пособия: «Полевая диагностика почв Беларуси», «Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь», монография «Почвы Республики Беларусь», «Методические указания по диагностике и полевому исследованию антропогенно-преобразованных почв сельскохозяйственных земель республики», которые содержат фотографии и описания почвенных профилей (на уровне разновидностей), научные сведения об особенностях формирования, распространения, состава и свойств почв, особенности их трансформации под влиянием антропогенных факторов.

На основании методики составления почвенного слоя для земельно-информационной системы Республики Беларусь при непосредственном участии Института почвоведения и агрохимии, создан и поддерживается в актуальном состоянии информационный слой «Почва» в республиканской земельно-информационной системе (ЗИС) в РУП «Проектный институт Белгипрозем» и его дочерних организациях. Работы по созданию, обновлению базы данных слоя «Почвы» выполняются после проведения работ по почвенному обследованию или корректировке результатов предыдущего обследования в границах земель сельскохозяйственных организаций, в том числе крестьянских (фермерских) хозяйств, подсобных хозяйств, а также в границах административного района. Слой почвы ЗИС создается и обновляется с точностью масштаба карты 1:10000. Полученный информационный слой «Почва» в ЗИС позволяет хранить информацию о почвенном покрове республики, распространении всего разнообразия почв, их площадные характеристики и на данный момент является отраслевым стандартом по почвенному картографированию в Беларуси.

Таким образом, созданное в республике научно-методическое обеспечение для проведения почвенно-картографических работ, позволяет получать почвенные карты, отражающие разновременные и современные особенности компонентного состава сельскохозяйственных земель для планирования и осуществления мероприятий по сохранению и повышению

плодородия почв, проведения землеоценочных работ в целях обеспечения продовольственной безопасности страны.

УДК 631.4

ЗЕЛЕНое КОЛЬЦО Г. ВОЛГОГРАДА

Андреева Д.А.

ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград

Большее половины населения планеты составляют жители городов. К 2050 году прогнозируется повышение этого показателя до 70%. Рассматривая динамику урбанизации в Российской Федерации, отмечается, что с 1970 г. численность населения в городах выросла с 62% до 75%. В рамках смягчения антропогенного воздействия, а также для изменения климатических показателей, принимают проекты по масштабному озеленению как внутри городов (скверы, парки), так и в примыкающих к городской зоне территориях. Большие зеленые массивы выполняют защитную функцию, вместе с ней градостроительную, средообразующую, эстетическую и т.д. Нередко зеленые насаждения местного пользования, высаженные на территории для препятствия какому-либо явлению (эрозии, дефляции), становятся так называемыми «зелеными коридорами» и обретают свое место в экологическом каркасе города.

Изначальной целью создания таких массивных зеленых насаждений, которые позже стали именоваться зелеными поясами или кольцами, было ограничение урбанизированной территории.

На территории г. Волгограда также располагается Зеленое кольцо, создание которого началось в 1935 г. В годы Великой Отечественной войны большинство посадок были уничтожены в ходе военных действий, поэтому создание Зеленого кольца возобновилось лишь в 1945 г. На данный момент площадь зеленых насаждений составляет лишь 6,8 тыс. га., что почти в 2 раза меньше от их площади в 1945-1950 гг. Связано данное явление с недостаточным финансированием, выделяемым для мониторинга и поддержания лесных насаждений, а также с повсеместной вырубкой массивов под строительство жилых зон и естественным старением и увяданием посадок.

Объект исследования находится на востоке г. Волгограда, характеризуется умеренно-континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха составляет 7,6°C, среднемесячная температура июля достигает отметки в 24,3°C, а среднемесячная температура самого холодного месяца – января – -9,5°C. Абсолютный максимум температуры воздуха наблюдается в августе - +43°C, абсолютный минимум в январе – -35°C. Ветер в основном имеет восточное и юго-восточное направление, в ноябре частота проявления восточного ветра достигает 30%.

Древостой характеризуется преобладанием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*, L.), которая является доминантным видом. Помимо нее древесные насаждения представлены вязом гладким (*Ulmus laevis* Pall.) и робинией лжеакацией (*Robinia pseudoacacia* L.). Из кустарников преобладают жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), карагана кустарниковая (*Caragana frutex* (L.) K.Koch.).

В ходе исследований по изучению почвенного покрова на территории участка было заложено и описано 24 полнопрофильных почвенных разрезов (рисунок). Почвенный покров представляет собой комбинации естественных, антропогенных и агрогенных почв. В северной части массива почвы отличаются наличием молодых (эмбриональных) техногенных типов (псаммозем гумусовый техногенный). Под техногенной толщей фиксировались погребенные горизонты естественных светлогумусовых почв. На открытых песках, а также на не облесенных участках почвенный покров характеризуется наличием стратоземов светлогумусовых эолово-аккумулятивных. В лесных насаждениях – агроземы агроэродированные агропереуплотненные.

Почвы центральной части участка в посадках сосны и акации идентифицированы как агроземы аккумулятивно-карбонатные агроэродированные, агрокаштановые и агроземы глинисто-иллювиальные. Стоит отметить, что в центральной части исследовательского участка гранулометрический состав преимущественно легко- и среднесуглинистый. Однако в некоторых местах, например, в южной части, гранулометрический состав облегчается в сторону опесчаненного легкого суглинка или супеси с псаммоземами гумусовыми эолово-аккумулятивными, но с погребенными агрокаштановыми почвами.

Почвы юго-восточной части на не облесенных участках классифицированы как агроземы постагрогенные, турбированные, агроэродированные и псевдофибровые. В лесных насаждениях – агроземы постагрогенные, агроэродированные и темнаязыковатые. В сосновом валежнике почвы представлены агрокаштановыми постагрогенными типами.

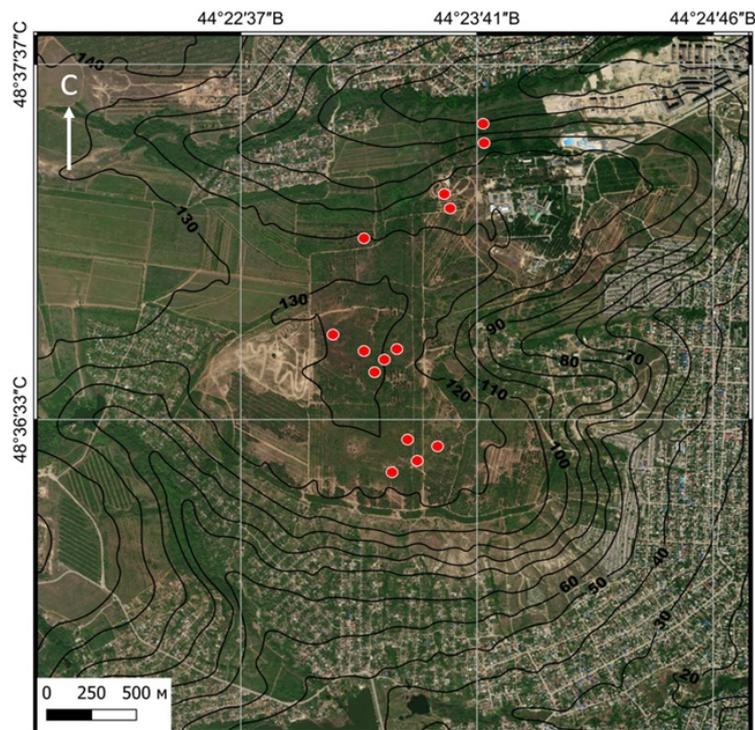


Рисунок – Положение полнопрофильных почвенных разрезов на космоснимке Зеленого кольца г. Волгограда

В ходе лабораторных исследований были проведены анализы на показатели рН и общее солесодержание. При морфологических исследованиях были выявлены следующие группы горизонтов: естественные гумусовые (AJ+A), пахотные (P), почвы начальных стадий почвообразования (W+rh), срединные некарбонатные и карбонатные (B+BMK+BI и BSA), почвообразующие (BSA; C) и техногенные (ТСН).

Техногенные горизонты в основном имеют слабокислый и нейтральный водородный показатель, а также характеризуются самым высоким показателем общего солесодержания – 0,19%. Слабощелочная среда (до 7,43) отмечается у срединных карбонатных горизонтов, их общее солесодержание в среднем равно 0,07%. Остальные горизонты обладают нейтральным или слабокислым рН (от 6,89 до 6,99) и общим солесодержанием от 0,03 до 0,05%.

Был выявлен ряд особенностей данного участка: 1) наличие эолово-аккумулятивного признака, который свидетельствует о современной подвижности песков; 2) постагрогенный признак, показывающий наличие оструктурности почвенных горизонтов (от бесструктурной и глыбистой до комковатой); 3) агроэродированный признак – как на примере литературы, так и в ходе полевых исследований показывающий, что первичная распашка почвы происходила с помощью плантажного плуга на глубину от 50 до 70 см, в

ходе которой в нижних частях пахотных горизонтов фиксировались припаханные морфоны нижних естественных горизонтов.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить современное состояние почвенного покрова Кировского участка Зеленого кольца и дали основу для изучения эволюции и деградации почв в результате проведенных агролесомелиоративных мероприятий.

УДК 631.48

ГЕОХИМИЯ ЖЕЛЕЗИСТО-МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОЧВ НА МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ РАЗНОГО СОСТАВА

Бахматова К.А., Русаков Г.А., Панова Е.Г., Чуков С.Н., Шешукова А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, k.bahmatova@spbu.ru

Исследования проводились на территории о. Валаам (Республика Карелия), расположенного в северо-западной части Ладожского озера, в 40 км от его северного берега. Площадь острова составляет около 36 кв. км. Остров находится на границе средней и южной тайги, преобладающим типом растительности являются хвойные леса. Уникальность природных условий Валаама связана с тем, что он приурочен к интрузии пород основного состава (на фоне преобладания в Карелии кислых магматических пород), отличается относительно мягким климатом, формирующимся под влиянием Ладожского озера, и высоким биологическим разнообразием.

О. Валаам сформирован в результате глыбово-блоковых движений кристаллического фундамента Ладожской котловины и характеризуется сложным денудационно-тектоническим рельефом: скальные гряды, сложенные магматическими породами основного состава, с плоскими или слабо волнистыми вершинами, разделяются понижениями, которые заняты рыхлыми осадочными породами ледникового и водно-ледникового генезиса. На острове преобладают два типа магматических пород: габбро-диабазы и монцониты. Габбро-диабазы — это темно-коричневые породы основного состава, имеющие габбро-офитовую структуру. В их составе присутствует основной плагиоклаз ряда лабрадор-андезин и пироксен. Из аксессуарных минералов встречаются биотит, роговая обманка, оливин, апатит, ильменит, магнетит и титаномagnetит. Монцониты имеют яркий красно-коричневый цвет и несут признаки метасоматического происхождения. Главная особенность этих пород - преобладание калиевого шпата над плагиоклазом и грубозернистое строение. Структура монцонитов габбро-офитовая с интерстиционными гранофировыми или микропегматитовыми выделениями. В породе присутствуют кварц (до 5 об.%), альбит, калиевый полевой шпат, фиксируются калишпатизация плагиоклаза, хлоритизация пироксена и выделения рудных минералов (сульфиды). Характерной особенностью магматических пород Валаама является их проработанность древними (допочвенными) и современными процессами выветривания, которые проявляются в виде дезинтеграции пород, ожелезнения, развития новообразованных минералов – иддингсита по оливину, рудных минералов - по зернам амфибола и биотита, а также хлоритизация, серицитизация, альбитизация плагиоклазов и присутствие глинистых минералов в интерстициях между минеральными зёрнами.

Почвы на магматических породах Валаама изучались известными специалистами (Лазарева, Морозова, 1989; Седов, 1988; Седов и др., 1992; Морозова, Лазарева, 2002; Урусевская, Матинян, 2014 и др.). Их называли подбурами или буроземами, в зависимости от наличия или отсутствия гумусового горизонта. При переходе на Классификацию почв России (2004), где были сформулированы четкие критерии, позволяющие разделить альфегумусовые, структурно-метаморфические и железисто-метаморфические почвы, почвы Валаама были отнесены к отделу железисто-метаморфических – органо-ржавоземам и органо-ржавоземам грубогумусированным (Шешукова, 2006). **Основным** диагностическим для этих почв

является железисто-метаморфический горизонт (BFM), характеризующийся пленками выветривания на поверхности щебня и минеральных зерен. Оксиды и гидроксиды железа также пропитывают мелкоземистую массу горизонта, способствуя формированию непрочно-комковатой структуры. Отличительной чертой органо-ржавоземов грубогумусированных является присутствие под подстилкой (O) маломощного (2-5 см) грубогумусового подгоризонта (Oao). Горизонт Oao представляет собой гумифицированную массу темно-серого цвета, с включениями дресвы магматических пород, с частично сохранившимися фрагментами растительных остатков, густо пронизанную грибными гифами. Нами были изучены два разреза органо-ржавоземов грубогумусированных, сформированных на продуктах выветривания габбро-диабазов и монцонитов. Почвы имеют кислую и слабокислую реакцию среды (pH_{сол} 4,0-5,0), преимущественно супесчаный, сильнокаменистый (содержание крупнозема 70-90%) гранулометрический состав. Химический состав изученных почв обусловлен особенностями химического состава почвообразующих пород. Так, для монцонитов, относительно габбро-диабазов, характерно увеличение содержания SiO₂, уменьшение содержания TiO₂, Fe₂O₃, MgO, CaO, P₂O₅ при незначительном колебании Al₂O₃, MnO и росте Na₂O и K₂O. Петрохимические особенности пород связаны с их генезисом: образование монцонитов происходило в последнюю стадию расслоения родоначальной магмы при ее застывании и кристаллизации, а именно когда произошло обогащение остаточного расплава кремнеземом, щелочами и редкими литофильными элементами. Данные закономерности прослеживаются и в почвенных профилях (особенно в нижних и срединных почвенных горизонтах), сформированных на указанных породах. Сравнение микроэлементного состава пород показало, что габбро-диабазы обогащены относительно монцонитов Cu, Zn, V, Cr и обеднены Rb и Ba. Для V, Ba Rb те же соотношения наблюдаются и в горизонтах почвенного профиля. В случае Co, Cr и Ni наблюдается заметное обеднение этими элементами обеих почв по сравнению с породами, которое приводит к сближению среднего содержания этих элементов в профилях, как на габбро, так и на монцонитах. При этом почвенные горизонты обогащены Zn и Cu относительно пород, и в результате это также приводит к тому, что различия по содержанию этих элементов, наблюдавшиеся в породах, нивелируются в почвах. Вместе с тем, в почвах Валаама, сформированных на магматических породах, содержание многих микроэлементов (Zn, Ba, V, Cr и др.) превосходит средние значения для почв Мира (Kabata-Pendias, Mukherjee, 2007). Содержания макроэлементов (Fe, Ca, P) в этих почвах также являются высокими относительно регионального фона. Обогащение почв на продуктах выветривания магматических пород макро- и микроэлементами питания растений способствует формированию поддержанию продуктивности и видового разнообразия растительных сообществ Валаама.

УДК 631.46:631.48:930.26

АГРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ СРЕДНЕГОРНОЙ ЗОНЫ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Борисов А.В.¹, Ельцов М.В.¹, Идрисов И.А.², Пинской В.Н.¹, Шаев И.А.

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино. a.v.borisovv@gmail.com;

²Институт геологии ДНЦ РАН, обособленное подразделение ФИЦ ДНЦ РАН, Махачкала, Республика Дагестан, 375000, idris_gun@mail.ru

Среднегорная зона Большого Кавказа представляет собой уникальный регион, почвы и ландшафты которого на протяжении нескольких тысяч лет развивались в агрогенном эволюционном тренде. Первые следы земледелия связаны с эпохой ранней бронзы. Наиболее интенсивное агрогенное преобразование экосистем горной зоны началось в эпоху средневековья и достигло максимальных масштабов к середине XIX – первой половине XX в. Следствием многолетней распашки почв в условиях высокой активности склоновых

процессов стало формирование сельскохозяйственных террас - специфических природно-антропогенных почвенно-грунтовых систем, представляющих собой результат регулируемого агрогенного разрушения, гомогенизации, перемещения и аккумуляции материала почвы и почвообразующей породы в пределах ограниченного участка склона. Почвы сельскохозяйственных террас следует рассматривать как новый подтип агростратифицированные (ast) в рамках типов стратоземов гумусовых в отделе стратоземы ствола синлитогенных почв. Ведущим фактором почвообразования, который обуславливает формирование стратифицированного профиля и специфические физико-химические и микробиологические свойства, является антропогенная деятельность. В результате распашки почвообразующей породы в области тылового шва террасы происходит ежегодный привнос материала почвообразующей породы в пахотный слой, что обеспечивает рост почвенного профиля основной части террасы.

Проведено картирование ареалов террасного земледелия по космоснимкам открытого доступа. Установлено, что всего в среднегорной зоне Большого Кавказа насчитывается 2895,52 км² террасовых полей. Из них на территории Российской Федерации - 2720,70 км². В Республике Дагестан насчитывается 2462,71 км² террасовых полей, в Чеченской Республике 69,0433 км², в Кабардино-Балкарской Республике - 63,2553 км², в Республике Северная Осетия – Алания - 48,3731 км², в Карачаево-Черкесской Республике - 30,0542 км², в Республике Ингушетия - 3,92377 км².

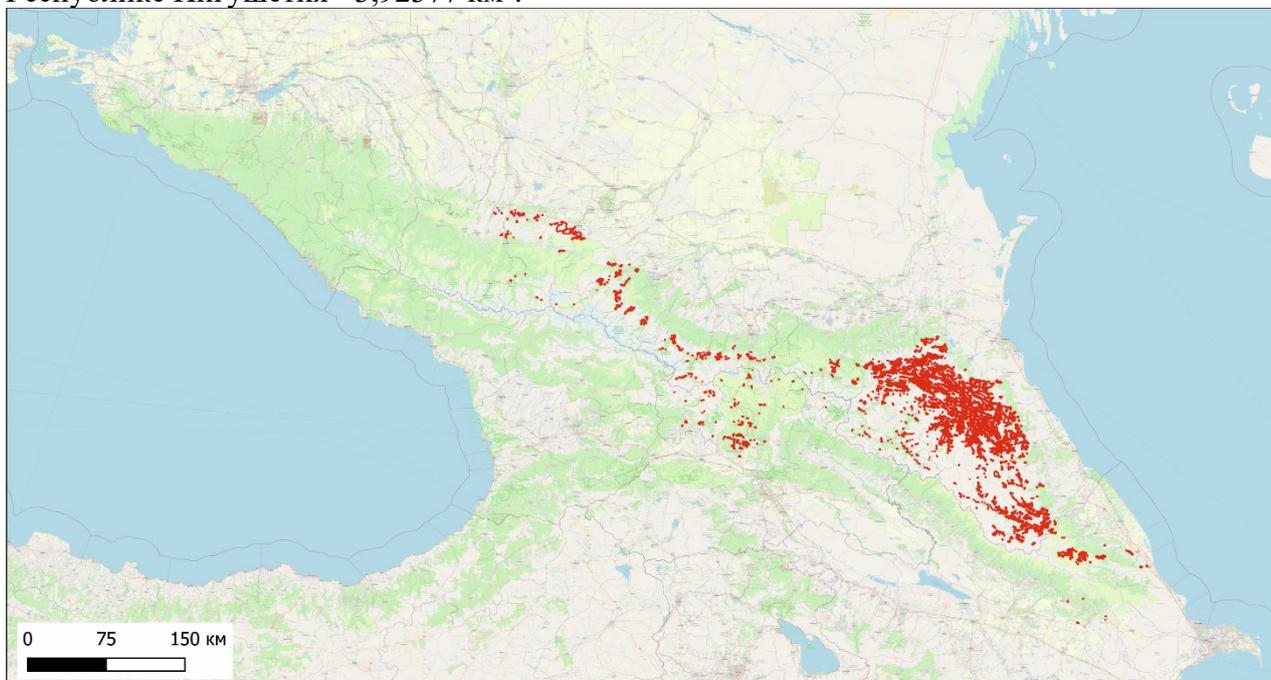


Рис. 1 Распространения сельскохозяйственных террас в разных регионах Кавказа

УДК 631.44

СПЕЦИФИКА АНТРОПОГЕННЫХ ГУМУСОВЫХ ГОРИЗОНТОВ УРБООКОСИСТЕМ Г. ВОЛГОГРАДА

Гордиенко О.А.

ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, e-mail oleg.gordienko.95@bk.ru

Почвенный покров городов характеризуется разнообразием и пестротой с комбинациями природных, природно-антропогенных (с квалификатором Prototechnic) и антропогенных почв (Technosols). Антропогенные горизонты, несмотря на существенные изменения морфологических, физических и химических свойств в сравнении с естественными

выполняют экологические функции, обеспечивая условия для роста и развития древесно-кустарниковой растительности и улучшения качества жизни городского населения. Диагностика и идентификация, как горизонтов, так и собственно городских почв в нашей стране всегда была объектом множества дискуссий. На территории г. Волгограда выделено 5 антропогенных гумусовых горизонтов (UR, RAur, RAT, Arh,ur и ur). Основным диагностическим критерием для выделения антропогенных почв и горизонтов является их мощность и обилие в них антропогенных включений (артефактов). В условиях г. Волгограда для выделения урбостратоземов главным было наличие урбикового горизонта (UR) мощностью >40 см и с содержанием артефактов >10% (от объема горизонта). При мощности <40 см, но с необходимым содержанием артефактов указывается малый горизонт ur (урбокаштановые и т.д.). Почвы с горизонтами (RArh,ur) мощностью >40 см, но с содержанием артефактов <10% классифицируются как стратоземы гумусово-урбистратифицированные. Почвы с горизонтами <40 см без высокого содержания артефактов (<10%), диагностируются как гумусовые урбистратифицированные почвы (Arh,ur). Почвы с плодородным рекультивационным горизонтом RAT идентифицируются как стратоземы компостно-гумусовые (рисунок).



Рисунок. Блок-схема классификации антропогенных почв (в условиях г. Волгограда)

Для каждого из вышеизложенных антропогенных гумусовых горизонтов характерны особенности морфологического строения, а также химических и физических свойств (рис. 2). Горизонты могут развиваться, как на погребенных естественных горизонтах, так и на техногенных субстратах. Для изучения вариабельности нами проанализированы такие свойства как: мощность горизонта его структура, цвет горизонта (по шкале Munsell), плотность, pH(H₂O), общее содержание солей, CaCO₃, C_{орг} и SOC_{stoc}. Проведенный статистический анализ выявил варьирование свойств антропогенных горизонтов. Так, урбиковые горизонты имеют мощность 48±3 см. Горизонты Arh,ur в среднем имеют мощность 20±2 см, урбистратифицированные признаки ur – 12±3 см, горизонты RAur – 46±1 см, а компостно-гумусовые горизонты RAT варьирует в широких пределах от 5 до 47 см (20±4 см). Структура антропогенных горизонтов г. Волгограда варьирует от глыбистой до комковатой. Цвет антропогенных горизонтов в г. Волгограде разнообразен и варьирует от 2,5YR до 7,5YR светлота от 4 до 6, насыщенность от 2 до 4. Реакция среды в антропогенных горизонтах г. Волгограда в среднем 7,7±0,1. Максимальные значения в 8,5 и 8,3 отмечены в горизонтах UR и RAur. Слабощелочная реакция фиксируется в признаках ur (среднее = 7,6±0,3), и Arh,ur (среднее – 7,5±0,05) и в RAT (среднее – 7,3±0,1). В целом исследуемые горизонты не засолены и медиана 0,12±0,01%. Средние значения CaCO₃ на уровне 1,8±0,2%. Медиана C_{орг} 1,2±0,1%, по разным антропогенным горизонтам – UR – 1,1±0,1%, в ur – 1,9±0,6%, в RAur – 1,5±0,3% и в Arh,ur – 1,3±0,2%. Наибольшее содержание отмечено в компостно-гумусовых горизонтах RAT – 2,7±0,2%. Среднее значения плотности для антропогенных горизонтов составили 1,4±0,01 г/см³. Установлено, что 33% всех исследуемых антропогенных горизонтов переуплотнены. Из горизонтов UR

переуплотнены 31% образцов, из малых горизонтов ur 50%, из RAur 44%, из Arh,ur 19% и из RAT – 35%. Средние запасы углерода в исследуемых горизонтах составляют 69 ± 5 т/га. Малые признаки ur и, собственно, урбиковые горизонта характеризуются высоким содержанием артефактов и большей плотностью, за счет чего запасы углерода в них наименьшие (среднее UR – 63 ± 6 т/га, среднее ur – 24 ± 13 т/га). В горизонтах RAur и RAT за счет большой мощности и малого объема артефактов запасы углерода максимальные – 290 (среднее – 93 ± 17 т/га) и 249 т/га (среднее – 58 ± 19 т/га) соответственно. SOCstoc в горизонтах Arh,ur на уровне 32 ± 5 т/га. Максимум артефактов приходится на урбиковые горизонты (максимум – 50%, среднее – $26 \pm 2\%$). Включения представлены преимущественно строительным и бытовым мусором, а также различными металлоконструкциями. Признаки ur также содержат высокий объем артефактов (среднее = $10 \pm 3\%$, максимум – 25%). Состав включений идентичен урбиковым. В горизонтах Arh,ur и RAT включений в среднем 6 ± 1 и $2 \pm 1\%$ соответственно. Максимальные значения могут достигать до 10%, а в некоторых случаях и полностью отсутствовать. Для горизонтов RAur характерно содержание артефактов на уровне $8 \pm 1\%$. В горизонтах UR размеры артефактов варьируют от 2,5 до 12,0 см (среднее = $8,0 \pm 0,5$ см), в RAur – 1,5-7,5 см (среднее = $4,0 \pm 0,5$ см), в ur – 3,0-5,5 см (среднее = $4,0 \pm 0,4$ см), в Arh,ur – 3,5-10,0 см (среднее = $8,0 \pm 0,4$ см), в RAT – 1,5-5,0 см (среднее = $3,0 \pm 0,3$ см).

Полученные результаты позволяют более детально изучить особенности свойств городских почв, сформированных в условиях различного землепользования и уровня антропогенного воздействия.

УДК 631.4

КЛАССЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ПОЧВ И СОЛОИДОВ - ОТ ФАКТОРНОГО ДО СУПРАГЛЯЦИАЛЬНОГО

Горячкин С.В.

Институт географии РАН, Москва, e-mail sergey.gory@gmail.com

Экстремальные условия среды в высокогорьях, на поверхности ледников, в пустынях, в Арктике и Антарктиде, а также связанные с мелководьями, токсичными или бедными по содержанию питательных элементов субстратами, интенсивными антропогенными воздействиями, специфической атмосферой или её отсутствием во взвешенных системах, приводят к формированию почв и почвоподобных систем (солоидов), которые не соответствуют традиционным канонам современного почвоведения и географии почв.

Пространственно-временной синтез полученных знаний о почвах экстремальных условий позволил выделить следующие классы экстремальности почв и солоидов.

I. Факторная экстремальность почв. Моно- и мультифакторная экстремальность, связанная с особенностями одного или нескольких факторов почвообразования (см. ниже).

II. Надземная экстремальность почв и солоидов. В некоторых случаях почвы и солоиды развиваются на древесном ярусе экосистем при участии эпифитов, задерживающих органические остатки и эоловый мелкозём, – это подвешенные (suspended) почвы. Сюда же можно отнести и ещё не исследованные органо-минеральные образования, формирующиеся на месте заброшенных древесных колоний животных – термитов, птиц.

III. Экстремальность супрагляциальных почв и солоидов. Речь идёт о специфических органо-минеральных образованиях на поверхности ледников и снежников. Эоловое накопление мелкозёма и появление растительности, начиная от водорослей и заканчивая лесом, обуславливают процессы, приводящие к появлению целой серии солоидов и почв: светопоглощающих примесей, криоконитов, “ледовых” почв (накопление разложенных остатков водорослей на поверхности льда, мощностью n см), полноразвитых почв под высшей растительностью, формирующихся на силикатном материале, подстилаемом глыбами мёртвого льда.

IV. Режимно-функциональная экстремальность почв связана с формированием в какой-то период (сезон, год) экстремальных для конкретной территории условий, прежде всего погодных. Как правило, это связано с отсутствием или избытком осадков, крайне высокими или крайне низкими для региона температурами, ледяным дождём и т.д. Например, экстремально жаркое и сухое лето 2003 г. в Западной Европе и 2010 г. в России оказало сильное влияние на потоки парниковых газов из почв. Этот класс экстремальности далеко не всегда или даже редко связан с генезисом и географией почв и появлением собственно экстремальных почв.

V. Хорологическая (внеареальная) экстремальность типа почвообразования связана с появлением почв, которые обычно характерны для других территорий с иным климатом. Например, немецкими почвоведом на побережье Восточной Антарктиды были найдены почвы, по всем критериям международной системы WRB соответствующие подзолам (Podzols), которые типичны для лесов и тундр. Другой пример был обнаружен с нашим участием для вертисолов (Vertisols по WRB). Вертисолы в большинстве своём относятся к глинистым почвам тропиков и субтропиков с чередованием сухого и влажного периодов. Однако недавно вертисолы были найдены и описаны в мерзлотной области Центральной Бурятии.

VI. Возрастная экстремальность почв стоит особняком по отношению к предыдущим классам. Сюда относятся очень молодые или, наоборот, очень древние почвы нормальных условий почвообразования. Первые через сотни или тысячи лет превратятся в нормальные оптимальные почвы, а вторые были таковыми миллионы лет назад. Однако подходы к исследованию первичных и очень древних почв во многом близки к экстремальной географии почв (электронная микроскопия, томография и др.), так как рутинные методы почвоведения оказываются недостаточно аккуратными по отношению к этим хрупким объектам.

Отдельно рассмотрим наиболее распространённую факторную экстремальность почв. Можно выделить следующие её разновидности.

Климатически экстремальные почвы (клима-экстремальные) – недостаточно обеспеченные теплом (регионы высоких широт) или влагой (засушливые регионы), территории с резкими колебаниями климатических условий.

Почвы, экстремальные в связи с рельефом (топо-экстремальные), неполноразвитость которых связана с местными условиями рельефа (пещеры, отвесные скалы и т.д.).

Почвы, лимитированные по биоте (био-экстремальные), например, почвоподобные тела пещер, где полностью отсутствуют фотосинтезирующие организмы, или почвы под бескорневой растительностью.

Почвы, экстремальные в связи с субстратом (лито-экстремальные), например, развивающиеся в токсичной среде или на крайне бедной основе, что не обеспечивает в должной мере благоприятные свойства и запас питательных веществ для развития биоты, а также экстремальные в связи с крайне неблагоприятными физическими свойствами, например, высокой каменистостью и практическим отсутствием мелкозёма.

Почвы, развитие которых лимитировано современным формированием отложений (седименто- или седи-экстремальные) – эоловым, флювиальным, вулканическим и т.д., что было известно ещё в додокучаевский период.

Почвы, сформировавшиеся под активным влиянием современных или прошлых эндогенных процессов (эндогенно-экстремальные), а также биокосные образования в гидротермальных условиях.

Почвы, сильно подверженные действию поверхностных вод на днищах мелких водоёмов, которые, согласно Мировой реферативной базе почвенных ресурсов, относятся к почвам и классифицируются как почвы (субакво-экстремальные).

Почвы, подверженные сильному воздействию грунтовых, в том числе засоленных, вод (гидро-экстремальные).

Почвы, сильно изменённые или сформированные в связи с деятельностью человека (антропогенно-экстремальные), – почвы на культурных слоях, токсичных отходах и т.д. Весьма часто приходится иметь дело с мультифакторной экстремальностью. Как правило, клима-экстремальные почвы одновременно являются лито-экстремальными из-за выноса мелкозёма сильными ветрами или седи-экстремальными в связи с эоловым привносом. Топо-экстремальность часто сочетается с лито-экстремальностью почв. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 20-17-00212.

УДК 631.4

ПОЧВЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ

Долгих А.В.^{1,2}, Корнейкова М.В.^{2,3}, Васнев В.И.²

¹Институт географии РАН, Москва, e-mail: dolgikh@igras.ru

²Российский университет дружбы народов, Москва

³Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты

Урбанизация – глобальный тренд, приводящий к необратимым изменениям растительности и почв на всей планете. Экологические последствия урбанизации особенно заметны в полярных регионах, где восстановление и развитие экосистем ограничивается климатическими (низкие температуры) и почвенными условиями (дефицит питательных веществ). Крупные города Мурманской области (Мурманск, Апатиты, Мончегорск) располагаются в Арктической зоне РФ, но вне криолитозоны. Гиперскелентные элювии массивно-кристаллических пород и сильношебнистые с валунами морены в городах Кольского полуострова являются почвообразующими породами для наиболее распространенных урбостратифицированных альфегумусовых почв с профилями мощностью в среднем немногим более 50 см, верхним в них часто является серогумусовый урбостратифицированный горизонт АУ_{ur}. На некоторых участках естественные почвы были удалены по время строительства и подрезки склонов холмов, в таких случаях появлялись техногенные поверхностные образования (реплантоземы), со временем эволюционировавшие в серогумусовые техногенные почвы. Более развитые урбостратоземы (урбаноземы) встречаются в историческом центре наиболее крупного и старого Мурманска. В парках с сохранившейся древесной растительностью, распространены как слабонарушенные подзолы и подбуры, отличающиеся по микробиологическим и физико-химическим свойствам от фоновых альфегумусовых почв, так и нарушенные урбостратифицированные (дерново-)подзолы и (дерново-)подбуры, где в результате благоустройства территории под злаково-разнотравной растительностью городских газонов в условиях привноса органико-минерального материала формируются серогумусовые горизонты. Также в условиях низкой антропогенной нагрузки в районах с сохранившейся естественной растительностью на холмах встречаются литоземы, а в понижениях торфяные почвы. В последнее время активное внимание уделяется состоянию объектов зеленой инфраструктуры городов, особенно в селитебной и рекреационных зонах. В связи с этим, нередко вместо реплантоземов появляются более сложные по строению конструктороземы. В парках исторического центра Мурманска формируются рекреаземы с серией погребенных разновозрастных рекультивационных горизонтов РАТ. Для урбопочв и техногенных поверхностных образований, созданных с использованием легко минерализуемых органических субстратов, характерно увеличение содержания углерода и азота по сравнению с фоновыми лесными и окружающими города пахотными землями. Как и для почв более южных городов, для почв урбанизированных территорий Мурманской области характерен тренд подщелачивания и смещение рН водной вытяжки с кислой реакции на нейтральную и слабощелочную за счет накопления карбонатного материала в результате антропогенной деятельности. Городские и техногенные ландшафты в арктической зоне не считаются

комфортной средой обитания для почвенной микробиоты. Однако почвы объектов зеленой инфраструктуры в селитебных и рекреационных зонах полярных городах представляют новую нишу для развития микробного почвенного сообщества. В почвах городов Мурманской области отмечается увеличение разнообразия микроскопических грибов и изменения в структуре их сообществ по сравнению с фоновыми почвами. Некоторые микроскопические грибы, обнаруженные в почвах урбанизированных территорий, не характерны для фоновых почв региона и ожидалось бы в более южных теплых условиях. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 23-17-00118.

УДК 631.48

РАЗРУШЕНИЕ КИСЛЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ В ПОДЗОЛАХ НА КВАРЦЕВЫХ ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПЕСКАХ КАК ИСТОЧНИК МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ СОСНОВОГО ЛЕСА

Иванов А.В., Салимгареева О.А., Аймалетдинов Р.А., Розанова М.С.

ФГБОУ ВО «МГУ им. М. В. Ломоносова», факультет почвоведения, г. Москва, e-mail anton.soil@mail.ru

Широкое распространение в земной коре кислых полевых шпатов в том числе калиевых на фоне все более растущего дефицита калийных удобрений в мировой сельскохозяйственной практике усилило в последнее время всевозрастающий интерес к изучению калиевых полевых шпатов как источника калия в исследовательских лабораториях крупнейших стран мира. В условиях Российской Федерации дефицита калийных удобрений не наблюдается, однако, существует интерес к изучению калиевых полевых шпатов в другом аспекте.

На востоке покрытой лесом северной половины территории Русской равнины значительные площади занимают альфе-гумусовые подзолы на флювиогляциальных кварцевых песках днепровского оледенения под пологом сосновых лесов. С учетом ничтожного содержания гумуса, поглощенных оснований (десятые и сотые доли процентов) и полным отсутствием глинистых частиц единственным носителем минеральных питательных элементов являются полевые шпаты, которые могут быть доступны только в результате их разрушения.

Объектом исследования явились три таких подзола восточной части Костромской области, представленные в порядке убывания продуктивности леса: сосняком с вереском и плауном, брусничником и беломошником.

Исследование физико-химических свойств подзолов выявило очень низкое содержание гумуса от 0,1 до 0,74%, крайне низкую емкость поглощения $Ca + Mg$ от 0,06 до 0,21 ммоль-экв./100г, гидролитическую кислотность от 0,6 до 3 ммоль-экв./100г. Изучение гранулометрического состава ситовым методом обнаружило почти полное доминирование песчаных фракций крупнее 0,05мм от 98,3% до 99,7%, при этом в горионте Е преобладают частицы размером 0,5-0,25 мм, в нижележащих горизонтах – фракция 0,25-0,1мм. Сравнение гранулометрического состава горизонтов Е и С во всех случаях обнаружило четкое уменьшение содержания минеральных частиц во фракции 0,25-0,1 мм горизонта Е. С учетом устойчивости кварца это может быть обусловлено только разрушением полевых шпатов. Это подтвердило соответствующее уменьшение содержания зерен полевых шпатов в горизонте Е этой фракции, выявленное кристаллооптическим исследованием с помощью поляризационного микроскопа Soptor CX40P факультета почвоведения МГУ. Изучение валового состава атомно-адсорбционным методом во фракции 0,25-0,1мм установило в горизонте Е по сравнению с горизонтом С уменьшение почти в полтора раза содержания K, Ca, Al характерных для полевых шпатов, что косвенно подтверждает их разрушение. Прямое подтверждение этому дает изучение зерен полевых шпатов на субмикроруровне при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JEOL JSM-6060A, оснащенного рентгеновским микроанализатором EX-2300 BU. Оно обнаруживает в горизонте Е четко

выраженное разрушение краевой части зерен полевых шпатов изучаемой фракции вплоть до обособления отдельных участков зерен. В нижележащих горизонтах зерна полевых шпатов подвержены меньшему разрушению и по большей части покрыты железистыми пленками с незначительным содержанием глинистых частиц. Изучение с помощью РЭМ очень незначительной по содержанию гранулометрической фракции менее 0,05 мм в горизонте Е обнаружило присутствие обломков зерен полевых шпатов и тонкодисперсного кварца, по-видимому, свидетельствующее также о разрушении полевых шпатов, при этом доля кварца значительно уменьшается. Преобладание полевых шпатов над кварцем в мелкоземле горизонта Е всех изученных подзолов и обнаруженное соответствующее уменьшение валового содержания К, Са и Al фракции 0,25-0,1 мм может быть обусловлено только разрушением полевых шпатов. Таким образом продукты разрушения могут быть источником минерального питания леса.

УДК 631.46

ПОЧВЫ ПРЕДГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ КРЯЖА ПАЙ-ХОЙ

Каверин Д.А., Шахтарова О.В., Лаптева Е.М., Пастухов А.В.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, dkav@mail.ru

Крайний Северо-Восток Восточно-Европейской равнины, где в пределах Югорского полуострова равнинные ландшафты Большеземельской тундры граничат с низкогорными кряжа Пай-Хой, представляет значительный научный интерес в физико-географическом аспекте. Для этой труднодоступной территории наиболее полно здесь охарактеризованы особенности геологического строения и растительного покрова. Тем не менее, в холодных горно-арктических областях роль почв, как стабилизирующего экосистему фактора, значительно выше по сравнению с равнинными территориями. В связи с минералогическим петрографическим разнообразием почвообразующих горных пород в горных и предгорных районах герцинского складчатого пояса формируется большая и разнообразная группа почв. Участок исследований площадью 26,7 км² расположен на границе Большеземельской тундры с кряжем Пай-Хой на юго-западе Югорского полуострова. Территория представляет собой предгорную волнисто-холмистую равнину (180-230 м над ур. м.), примыкающую на северо-востоке к отрогам низкогорного кряжа Пай-Хой. Характерными формами рельефа являются моренные холмы, локально заболоченные озерно-аллювиальные котловины и понижения, аллювиальные террасы (Данилов, 1962). Почвообразующими породами предгорной равнины являются четвертичные прибрежно-морские, ледниково-морские, моренные, озерно-ледниковые, озерные и аллювиальные отложения. Территория относится к зоне сплошного распространения ММП мощностью 300-400 м, среднегодовой температурой – 3...-5 °С. Ландшафтно-географические исследования показали, что территорию района исследований можно условно разделить на два сектора: низкогорный и равнинный. По ландшафтной приуроченности в низкогорном секторе выделяются следующие группы почв: 1. Почвы вершин хребтов и верхних частей склонов; 2. Почвы нижних частей склонов; 3. Почвы подошв горных склонов. В низкогорном секторе преобладают подбуры (иллювиально-гумусовые O-Vh-B-BD-D и глееватые O-Vh-Bg-CD), развитые под мохово-лишайниковыми тундрами. В подножии хребтов и межхребтовых понижениях под ивняково-мохово-травянистыми тундрами развиты глееземы, в том числе криометаморфические O-G-GCRM-SG и потечно-гумусовые O-VH-BG-SG. Равнинный сектор характеризуется большим разнообразием почв. По ландшафтной приуроченности в равнинном секторе выделяются: 1. Почвы вершин увалов; 2. Почвы склонов увалов; 3. Почвы межувалистых понижений; 4. Почвы низких озерных террас; 5. Почвы речных пойм. На вершинах водораздельных увалов и в верхних частях их склонов под мохово-кустарничковой растительностью доминируют глееземы, в том числе мерзлотные (криометаморфические O-G-GCRM-SG_T, потечно-гумусовые O-VH-Bg@-BG-SG_T). На увалах, сложенных слабосортированными

отложениями легкого гранулометрического состава с большим количеством обломочного материала, формируются слабодифференцированные почвы - псаммоземы О-С. В средних частях склонов, помимо глееземов, развиты торфяно-глееземы О-Т-G-CG, в том числе криотурбированные О-Т-G-G@-CG, и серогумусовые глеевые АУ-ВН-Vf-Vg-Cg почвы. Торфяно-глееземы встречаются в межуалистных понижениях наряду с глееземами и слабодифференцированными почвами. Однако, в низких озерных террасах развиты преимущественно глееземы потечно-гумусовые и иллювиально-ожелезненные О-Gf-Gcm-CG. В поймах рек преобладают аллювиальные серогумусовые почвы, но встречаются и глееземы мерзлотные О-Vgh-Vg-CgT.

По физико-химическим свойствам почвы предгорий кряжа Пай-Хой характеризуются относительно высокими значениями рН в сравнении с глеевыми почвами южной тундры. Значения рН_{KCl} варьируют в диапазоне от кислых до нейтральных. Кислотность, как правило, снижается вниз по профилю почвы. При этом, наименее кислые значения обнаруживаются в многолетнемерзлых горизонтах. Содержание почвенного углерода резко дифференцировано между органогенными и минеральными горизонтами. Минеральные горизонты сезонноталого слоя почв, как правило, характеризуются низким содержанием С (не более 1%), за исключением потечно-гумусового горизонта Vh, формирующегося непосредственно под торфянистой подстилкой. Минеральные многолетнемерзлые горизонты также характеризуются низкими значениями почвенного углерода.

По содержанию кислоторастворимых форм тяжелых металлов во всех исследованных почвах максимальные концентрации характерны для Fe ($15,8 \pm 0,6$ г/кг) и Al ($12,6 \pm 0,9$ г/кг). В почвах района исследований также обнаруживается повышенная концентрация Mn ($0,6 \pm 0,0$ г/кг). Средние концентрации остальных тяжелых металлов обычно не превышают значений 50 мг/кг. Среди них наибольшими значениями выделяются Zn ($40,1 \pm 1,3$ мг/кг), Ba ($53,4 \pm 2,3$ мг/кг), V ($32,8 \pm 1,2$ мг/кг) и Sr ($33,2 \pm 1,4$ мг/кг). В органогенных горизонтах ряда почв наблюдается повышенное относительно минеральных горизонтов содержание Co, Cd, Sr, Pb, Zn.

Исследования выполнены при поддержке темы № 122040600023-8 «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов».

УДК 631.4

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Колесников Р.А., Печкин А.С.

ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Салехард, roman387@mail.ru

Несмотря на то, что почвенный покров Ямало-Ненецкого автономного округа изучают с 30-х годов прошлого века до настоящего времени, имеющиеся в литературе сведения о почвах остаются крайне фрагментарными. Разнообразие и динамика факторов почвообразования на территории Ямало-Ненецкого автономного округа привели к развитию десятков типов почв. Наличие многолетнемерзлых пород и связанных с ними криогенных процессов ведет к развитию различных форм микрорельефа, что в свою очередь определяет мозаичность и комплексность почвенного покрова Ямало-Ненецкого автономного округа. Существенное влияние на формирование почв оказывают большая переувлажненность и заболачивание, низкие среднегодовые температуры. В результате глееобразование, оподзоливание и торфонакопление стали одними из ведущих процессов почвообразования.

Разнообразие факторов почвообразования и их пространственная динамика приводят к тому, что на территории Ямало-Ненецкого автономного округа формируется разнородный почвенный покров, представленный множеством типов почв. В целом почвенный покров

Ямало-Ненецкого автономного округа отличают выраженная зональность и высокая степень гидроморфизма. В ЯНАО встречаются автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные почвы. Преимущественно почвенный покров представлен глееземами, криоземами, подбурами, торфяно-глееземами, подзолисто-глеевыми почвами, подзолами иллювиально-гумусовыми и иллювиально-железистыми, олиготрофными торфяными почвами. Для почвенного покрова ЯНАО свойственны формирования почвенных сочетаний и комплексов, мозаичность, что обусловлено влиянием различных форм мезо- и микрорельефа, формированием пятнистых и полигональных тундр, а также особенностями почвообразовательных пород и типами растительности. Существенное влияние на почвообразование оказывают многолетнемерзлые породы, слабая дренированность территории и избыточное увлажнение.

В тундровой зоне почвы представлены преимущественно глееземами, криоземами, торфяно-глееземами, подбурами, а также пелоземами, псаммоземами и маршевыми почвами. В лесотундре распространены глееземы торфянисто-перегнойные, глееземы оподзоленные, торфяно-глееземы, криоземы, подбуры перегнойные, подбуры глеевые, подзолисто-глеевые почвы, подзолы иллювиально-гумусовые, а также олиготрофные торфяные почвы.

Почвенный покров северо-таежной подзоны представлен следующими почвами: подзолисто-глеевыми, торфяно-глееземами, торфяными олиготрофными почвами, подзолами иллювиально-железистыми, подзолами иллювиально-гумусовыми, подзолами глеевыми, подбурами, светлоземами. Почвенный покров средней тайги на территории Ямало-Ненецкого автономного округа преимущественно сформирован подзолами иллювиально-железистыми, подзолами иллювиально-гумусовыми, светлоземами глееватыми, подзолисто-глеевыми почвами, глееземами торфяными, торфяными олиготрофными почвами. На Полярном Урале и в его предгорьях преобладают примитивно щебнистые почвы (петроземы), подбуры грубогумусированные, подбуры иллювиально-железистые, подбуры глееватые, криоземы перегнойные. В поймах рек Западно-Сибирской равнины формируются аллювиальные слоистые, аллювиальные торфяные и аллювиальные глеевые почвы.

Кроме почв, развивающихся в естественных условиях в ЯНАО формируются почвы урбанизированных экосистем. Ряд исследователей указывают, что почвообразование в населенных пунктах ЯНАО представлено тремя основными типами морфогенеза: урбаноземы и урбоестественные почвы собственно городских функциональных зон; техноземы и техногенные почвоподобные тела индустриальных и транспортных объектов; разнообразные агропочвы, локализованные внутри или вблизи поселений.

Важную роль в развитии почвенного покрова на территории Ямало-Ненецкого автономного округа играют гумусообразование, оглеение и криогенез. Многие почвы подвержены криогенному влиянию, ряд почв сильно деформированы процессами пучения и солифлюкции. Для части почв характерна тиксотропность, некоторым свойственна надмерзлотная аккумуляция гумуса.

Поверхностные горизонты в большинстве случаев представлены подстильно-торфяными (O), реже олиготрофно-торфяными (TO) и торфяными (T) горизонтами. Элювиальные горизонты обычно представлены подзолистым горизонтом (E), срединные горизонты – альфегумусовым иллювиально-железистым, реже иллювиально-гумусовым, также распространен криогенный горизонт (CR). Гидроморфизм и переменные окислительно-восстановительные условия определяют наличие во многих почвах гидрогенного глеевого горизонта (G).

Для большинства исследованных почв свойственны сильноокислая и кислая реакции почвенной среды, низкое содержание гумуса. Также фоновые почвы не загрязнены нефтепродуктами, бенз(а)пиреном, АПАВ и фенолами. Концентрация железа изменяется в широком диапазоне и зависит от литологических особенностей почвообразующих пород, локальных ландшафтногеохимических условий. Содержание тяжелых металлов низкое. Почвы обеднены большинством микроэлементов.

УДК 631.481

ГОРНЫЕ ПОЧВЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ЮЖНОГО УРАЛА – ХРАНИТЕЛИ ДРЕВНЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Кунгурцев А.Я.^{1,2}, Сулейманов Р.Р.^{3,4}, Савельев Н.С.⁵

¹ФГАОУ ВО УрФУ, Екатеринбург

²МАОУ – гимназия №13, Екатеринбург, A.I.Kungurtcev@urfu.ru

³ФГБОУ ВО УУНиТ, Уфа

⁴УИБ УФИЦ РАН, Уфа, soils@mail.ru

⁵ИИЯЛ УФИЦ РАН, Уфа, sns_1971@mail.ru

Почвы археологических памятников уникальный источник информации результатов антропогенной деятельности и естественных природных явлений. С одной стороны, почва археологического памятника - материальная основа культурного слоя, вмещающего результат антропогенной деятельности и в том числе образованный при участии природных процессов, а с другой стороны почва археологического памятника содержит включения, не свойственные природным почвам, развивающимся в естественных условиях. Комбинация нарушений почвенного покрова на территории археологического памятника может быть разнообразной. В связи с этим, культурный слой археологического памятника, центральный объект археологии, сформированный в сочетании с фрагментами тела природной почвы, занимающей территорию ранее, до появления археологического объекта, представляет интерес в почвенных исследованиях.

Последняя четверть прошлого века связана с выделением нового направления в почвоведении – археологическое почвоведение. Наиболее полно, в комплексных почвенно-археологических исследованиях используют памятники территории Восточно-Европейской равнины, в пределах бывшего СССР. На территории Республики Башкортостан расположено несколько тысяч археологических памятников, разного возраста, но комплексными исследованиями, памятники охвачены единично.

Совместно с археологами на территории лесостепной зоны в восточной части горной Башкирии были исследованы почвы археологических памятников: «Стоянка Карабалыкты VII» (Мысовая, Урта-Тубе) (неолит), южный берег озера Карабалыкты, и селище Имсяк-Тау-1 (позднее средневековье) на реке Большой Кизил.

В целом по набору морфологических признаков почвы территории исследуемых археологических памятников соответствуют лугово-черноземной карбонатной почве и лугово-черноземной карбонатной антропогенной почве.

Гидрологический режим накладывает особенности, связанные с проявлением в основании профиля исследуемых почв глеевого горизонта Q. Исследуемые почвы более чем на 90% насыщены основаниями, однако, реакция среды слабокислая и близкая к нейтральной. Повышенное содержание подвижных форм железа в гумусовом горизонте почв археологического памятника «Стоянка Карабалыкты VII» (Мысовая, Урта-Тубе) (неолит), южный берег озера Карабалыкты по сравнению с гумусовыми горизонтами почв археологического памятника селище Имсяк-Тау-1 на реке Большой Кизил, можем связать с особенностями гидрологического режима, застой воды. На фоне гидрологического режима наблюдается повышенное содержание подвижных форм фосфора в гумусовом горизонте, что можем связать с результатом антропогенной деятельности.

Гумус почв исследуемых археологических памятников соответствует гуматному типу. Результаты оптической плотности растворов гуминовых кислот фракции ГК-2 гумусовых горизонтов почв, показали, что наиболее зрелые гуминовые кислоты фракции ГК-2, соответствуют гумусовому горизонту почв, испытавших антропогенную нагрузку, а наименее зрелые гуминовые кислоты фракции ГК-2, соответствуют гумусовому горизонту почв, формирующихся в условиях застоя воды.

Предварительные данные позволяют предположить, что продолжительно функционирующий гидрологический режим, застой воды, оказывает бóльшую нагрузку на почвенный покров археологических памятников, чем антропогенное воздействие.

УДК 631.48:911.2

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ НА ЮЖНЫХ СКЛОНАХ ХРЕБТОВ В ПРЕДЕЛАХ ТУВЫ

С.С. Курбатская, Ч.О. Ооржак, Ш.Д.Ананды

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл

В пределах Тувы располагаются южные склоны хребтов Западного Саяна. Осевую зону в юго-западной части составляют хр. Сайлыг-Хем-Тайга и Саянский. От Главного Саянского хребта отходят две ветви хребтов: на севере Кантегирский (2485 м) и Джебашский (2510 м). Наибольшая высота характерна для вершин альпинотипных глубококорасчленённых хребтов (Кызыл-Тайга, 3122 м). На южных склонах Западного Саяна (высоты 1500-2500 м) преобладают таежно-лесные ландшафты среднегорий, представленные темнохвойной тайгой из кедра, пихты и ели с кустарниками.

Почвенные исследования, проведенные в таежно-лесном поясе Западного Саяна в районе бассейнов рек Кантегир и Самбыл показали большое разнообразие в почвенном покрове в доминирующем елово-кедровом и кедрово-еловом лесном массиве. Нами отмечено, что разнообразие почв связано, прежде всего, с почвообразующими породами, их гранулометрическим составом, близостью грунтовых вод, мерзлотными явлениями при относительно сходных гидротермических условиях развития почвенного покрова.

Вследствие этого наземный растительный покров меняется буквально через десятки, сотни метров елово-кедровый лес с моховым наземным покровом с кустарниками березы мелколистной, жимолости; с мохово-лишайниковым покровом с брусникой, голубикой и т.п. Вслед за этим проявляется мозаичность, мелкоконтурность, комплексность в почвенном покрове, отмеченные многими исследователями почв горных лесов (Носин, 1963; Смирнов, 1970; Краснощеков, 2013). Лесные почвы имеют мощный моховой горизонт, состоящий из живого мха и очеса, часто верхний горизонт оторфован, хорошо прогумусирован. Содержание гумуса в верхнем гумусово-перегнойном горизонте достигает 20-27%, реакция почвенного солевого раствора кислая от 2 до 3,8. Ниже представлен профиль мерзлотно-таежной перегнойной торфянистой тяжелосуглинистой почвы в кедрово-еловом лишайниково-моховом лесу с березой мелколистной.



0 – 0-8см- живой мох; **A_т** – 8-32 см, мертвый мох, рыхлый, слегка оторфован, влажный; **A_п** – 32-44 см, темно-серый, структура мелкокомковато-зернистая, рыхлый, влажный, пронизан корнями кустарников и деревьев, тяжело суглинистый; **B** – 44-63 см, светло-коричневый, тяжело суглинистый, слабо уплотнен, почти нет корней, наблюдается некоторое сизоватость; **BC** – 63-67 см, светло-коричневый, тяжело суглинистый, более уплотнен, более влажный, глинистый; **C** – ниже 67 см – валуны, глина, мокрый, плотный (валунно-галечниковые отложения). Высотный уровень тот же (1600-1900 м), но в более осветленной части леса с обильно растущими березой мелколистной и лишайниками встречаются разновидности темно-серой лесной почвы с признаками слабой оподзоленности. Встречаются почвы горно-таежная бурая неоподзоленная, горно-таежная перегнойная неоподзоленная и другие темноокрашенные почвы трудно диагностируемые. Дерново-подзолистые и подзолы нами не встречены, хотя они описаны и внесены в почвенную карту Тувы (Носин. 1963)
Формирование таежно-лесных почв на южных склонах хр. Восточный Танну-Ола проходит иных условиях, чем на Западном Саяне. Южный склон Западного Саяна более гумидный с годовым количеством осадков до 600-700 мм, а южном склонк Танну-Ола количество осадков составляет 300-400 мм

На южной окраине территории республики расположены хребты Западного и Восточного Танну-Ола субширотного простираия. Восточно-Таннуольский хребет представляет собой горстовое поднятие с пенепленизированными вершинными поверхностями с абсолютными высотами 2400-2900 м, ограниченными резко выраженными тектоническими уступами. Хребет Танну-Ола является одним из крупных климатических рубежей, поднимаясь как последний барьер на пути влажных северо-западных воздушных течений, достигающих Центральной Азии. Природа южного макросклона Восточного Танну-Ола, обращенного к Убсунурской котловине, и самой котловины отличается от всех других частей Тувы преобладанием центральноазиатских (монгольских) элементов. Здесь проходит северная граница пустынь Центральной Азии (Мурзаев, 1952).

В связи с широтной ориентировкой хребта, здесь особенно ясно проявляется экспозиционная асимметрия ландшафтов. Северный склон Танну-Ола почти сплошь является таежным. Характерной особенностью верхней ступени южного склона Танну-Ола (1800-2000 м) является наличие сильно редуцированной, а в западной части совсем исчезающей таежной полосы, очень резко граничащей с сухой степью (Носин, 1963).

Нами проведены исследования таежно-лесных почв на южных склонах передовых хребтов центральной части хребта Восточный Танну-Ола. Лес состоит из лиственницы сибирской. С 1800 до 1900 м появляется темнохвойные породы: сосна сибирская и ель. В подлеске встречаются кустарники, жимолость, шиповник; в наземном покрове: земляника, костяника. Преобладает светло-хвойная тайга с травянистым растительным и мохово-лишайниковым покровом, часто с кустарниками шиповника, курильского чая, полукустарничка брусники. Почвы горно-таежные дерновые неоподзоленные с содержание гумуса 6-8%, реакция почвенного раствора слабокислая (рН - 6,2-6,8). В широких распадках, ложбинах лес смешанный лиственнично-кедровый с мерзлотно-таежными перегнойными почвами.

УДК 631.4

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ЗАРАФШАНА

Курвантаев Р.,¹ Газиев Т.Ч.²

¹Исследовательский институт почвоведения и агрохимии, e-mail: kurvontoev@mail.ru

²Самаркандский государственный университет им. Ш.Рашидова e-mail: gozievt@gmail.com

Самаркандская область расположена в самой западной части Памиро-Алайского горного хребта. Орошаемая площадь расположена в основном в широкой равнинной долине реки Зарафшан и образует два геоморфологических различия: верхнюю часть составляют III-сухопутные террасы, а нижнюю часть - I и II террасы реки Зарафшан. III-терраса состоит из

лессовых суглинков почвообразующих пород, I и II террасы обслуживаются аллювиальными отложениями различного механического состава и различной мощности. Среди орошаемых земель выделяются темные, типичные и светлые сероземы, в районе типичных и светлых сероземов выделяются лугово-серозёмные, серозёмно-луговые, луговые и болотно-луговые почвы.

Орошаемые темно-серозёмные почвы по механическому составу среднесуглинистые, гравий укладывается с глубины 0,5-1 м. пахотный слой темный. Количество гумуса 1,4-2,5%, азота 0,09-0,18%, иногда из-за эрозии почвы количество гумуса в пахотном слое несколько снижается (от 1,2 до 1,6 %). Он плохо обеспечен валовой формой фосфора (0,09-0,11 %), количество валового калия (1,6-2,7 %). Количество карбонатов в почве очень высокий (9-11 % CO₂), наибольшее количество которых накапливается в проницаемом слое. В почвах, подверженных ирригационной эрозии, карбонаты в пахотном слое были незаметны. Иногда в верхнем слое почвы имеется глинистый (глеевый) слой, образовавшийся в результате выветривания минералов и накопившийся в средней части разреза. Орошаемый темный серозём не засолен, соли и гипс вымыты дождевыми и оросительными водами. Поглотительная способность этих почв составляет от 9 до 16 мг-экв на 100 г почвы. В составе поглощаемых оснований преобладают кальций и магний.

Орошаемые типичные сероземы на горных склонах и Зерафшанских террасах они тяжело- и среднесуглинистые. Почва в основном состоит из лёсса или лессовидных суглинков. Староорошаемые почвы имеют агроирригационный слой, иногда засыпанный гравием с глубины 0,5-1,2 м. Количество гумуса в пахотном слое колеблется в широких пределах (от 0,8 до 1,5 %) в зависимости от уровня промывки почвы и периодичности поливов. Количество азота в почве 0,04-0,10 %, в зависимости от нижних слоев разреза количество гумуса снижается до 0,4-0,6 %. Соотношение углерода и азота варьируется от 6 до 10. Содержание общего фосфора 0,16-0,20 %, общего калия 1,6-1,9 %. Карбонаты распределены по разрезу равномерно (8-9 % CO₂), они выражены в виде новообразований псевдомицелл и конкреций. Орошаемые типичные сероземы не засолены, но иногда сильно и умеренно эродированы орошением. Поглотительная способность составляет 5-9 мг-экв в 100 г почвы. Абсорбционный комплекс насыщен кальцием (70-80 %), иногда присутствует много магния. Орошаемые светлые сероземы расположены на третьей террасе реки Зерафшан и местами на наклонных равнинах предгорий. Почвообразующие породы - лёссовидные суглинки. В староорошаемых светлых серозёмах лессовые суглинки покрыты агроирригационным слоем мощностью 0,5-0,6 м. Содержание карбонатов этих почв высокий 8-10 % CO₂. Орошаемые светлые серозёмы занимают выровненные площади, поэтому их слабая часть подвержена преимущественно слабой ирригационной эрозии. По механическому строению почва средне-легкосуглинистым, иногда с глубины 0,5-1 м закладывается гравий. Цвет гумуса наблюдается до глубины 30-50 см. Количество гумуса в почвенном слое составляет 0,6-1,2 %, азота - 0,04-0,06 %. Количество карбонатов (CO₂) составляет 6-9 %. Валовой фосфор в пахотном слое составляет 0,17-0,18 %. Почвы обладают небольшой поглотительной способностью - от 6 до 10 мг-экв в 100 г почвы. В составе поглощаемых оснований преобладают кальций и магний (70-75 % от общего количества).

УДК 631.4

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ПОЛИГОНОВ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛИСИНСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА

Лазарева М.А.

ЦМП им. В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, margoflams@mail.ru

Лисинский учебно-опытный лесхоз (ЛУОЛ) является учебной базой Санкт-Петербургской государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова. Территория расположена

в юго-западной части Тосненского района Ленинградской области на широте 59°30' N. В настоящее время территория Лисинского учебно-опытного лесхоза включает Перинское, Лисинское и Кастенское лесничества, Лисинскую, Ижорско-Тосненскую, Машинскую и Гришкинскую дачи. Перинское лесничество занимает северную и северо-западную части лесхоза, составляет Лисинскую дачу. Наиболее изученное Лисинское лесничество расположено в центральной и северо-восточной части лесхоза, включает Лисинскую и Ижорско-Тосненскую дачи. Кастенское лесничество находится в южной части лесхоза, составляет Лисинскую, Машинскую и Гришкинскую дачи. Наибольшую территорию занимает Лисинская дача.

ЛУОЛ представляет собой уникальный объект для организации и проведения долгосрочного почвенно-экологического мониторинга. Преимуществами территории являются: удобное географическое расположение в крупном агропромышленном регионе; достаточная удаленность от промышленных объектов (территория находится в 60 км от г. Санкт-Петербург); типичные для северо-запада России экосистемы; наличие разновременных материалов исследований почвенно-растительного покрова; хорошо изученная история 200-летнего освоения территории.

Основой для исследования послужили почвенная карта масштаба 1:50000, созданная в геоинформационной системе QGIS с использованием карт факторов почвообразования, спутниковых снимков на базе Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП) в соответствии с госзаданием (№ НИОКТР 119011590146-6) и база данных (БД) к ней, созданная с использованием литературных данных, отчетов, диссертаций, материалов экспедиций.

В БД охарактеризовано 312 почвенных разрезов. Дана характеристика почв на основе их факторных, морфолого-генетических и аналитических характеристик, таких как: морфологическое описание, классификационное положение, условия почвообразования, физико-химические и химические показатели свойств почв. Почвенное разнообразие ЛУОЛ, охарактеризованное в БД, представлено 32 типами почв, 101 подтипом почв. Это естественные и антропогенно-измененные почвы (осушенные, первичного ствола почвообразования, турбированные, стратифицированные, агрогенные). Все объекты базы данных привязаны к границам кварталов.

Полигоны почвенно-экологического мониторинга (ППЭМ) являются частью базы данных и представляют собой картографические выделы, содержащие на определенный момент времени сведения о состоянии почвенного и растительного покрова. Основанием для их выделения явились материалы научных исследований почв, проведенных в период с 1930 г. по н.в. Для каждого полигона дана характеристика в базе данных.

На территории ЛУОЛ выделены почвы:

- принадлежащие к 3 группам элементарных геохимических ландшафтов (по М.А. Глазовской). Почвы элювиальных ландшафтов занимают повышенные элементы рельефа, распространены на водораздельных пространствах. Почвы транзитной группы ландшафтов занимают склоны гряд и холмов. В верхних частях склонов, где преобладает вынос веществ, встречаются почвы трансэлювиальных типов ландшафтов. В нижних частях склонов, где наряду с выносом происходит накопление веществ, выделены почвы трансэлювиально-аккумулятивных ландшафтов. Большинство почв исследуемых участков относится к аккумулятивной группе ландшафтов. Данные почвы формируются при значительном участии грунтовых вод, занимают, как правило, равнинные территории, встречаются в понижениях местности, где происходит преимущественно аккумуляция (осаждение и накопление) веществ.

- различных классов, видов и типов местоположений по Г.А. Исаченко. Это местоположения с невыраженными гранями рельефа и относительными превышениями менее 5 м с постоянным либо периодическим избыточным увлажнением (почвы данного класса местоположения преобладают, это почвы пойм А, торфяных отложений В, на моренных

суглинистых отложениях Lg, на ленточных глинах LI); местоположения со слабовыраженными грядами рельефа и относительными превышениями менее 5 м (это почвы на песках Pf, моренных супесчаных отложениях Pg); естественно дренируемые, с периодическим переувлажнением; и на территории озовых гряд - местоположения с четко выраженными грядами рельефа (вершины, гребни, с превышениями более 5 м); как правило, хорошо дренируемые. Почвы с невыраженными грядами рельефа и относительными превышениями менее 5 м с постоянным либо периодическим избыточным увлажнением преобладают.

- различных почвообразующих пород: озерно-ледниковые (ленточные глины), моренные суглинистые отложения, двучленные отложения, водно-ледниковые отложения, моренные супесчаные отложения, аллювиальные, торфяные отложения. Почвы на моренных, озерно-ледниковых суглинисто-глинистых и двучленных отложениях преобладают.

- четырех типов водного режима (промывной, периодически водозастойный, водозастойный, поёмный). Преобладают почвы промывного и периодически водозастойного типа водного режима.

- с различной степенью гидроморфизма, дренированности, дифференциацией профиля:

а) с отсутствием, слабой, средней и сильной степенью гидроморфизма;

б) со слабой, средней и хорошей степенью дренированности почвенного профиля;

в) с недифференцированным, дифференцированным и хорошо дифференцированным профилями.

На территории преобладают дифференцированные и хорошо дифференцированные почвы со слабой - средней степенью гидроморфизма, слабо- среднедренированные.

УДК 631.46

ПОЧВЫ НА КРАСНОЦВЕТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛЕНО-АНГАРСКОГО ПЛАТО: ГЕНЕЗИС, СВОЙСТВА, МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СРАВНЕНИЕ С ЕВРОПЕЙСКИМИ АНАЛОГАМИ

Лесовая С. Н., Соколов А.А.

Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, 199198 Россия, s.lesovaya@spbu.ru

Лено-Ангарское плато расположено в Восточной Сибири, в области резко континентального климата умеренного пояса и является юго-восточной частью Среднесибирского плоскогорья. На территории плато преобладает южно-таёжная растительность. В южной части плато почвообразующими породами выступают широко распространенные здесь карбонатно-силикатные красноцветные верхнекембрийские отложения. Они представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами. В одном из ранних исследований, посвященных почвообразованию на этих породах, почвы в зависимости от выщелоченности профиля и проявления дифференциации были классифицированы как дерново-карбонатные типичные, выщелоченные и оподзоленные (Макеев О.В., 1959). Помимо дерново-карбонатных почв описаны почвы с осветленным горизонтом (A2), формирование которых объяснялось различными гипотезами в обобщениях по почвообразованию на карбонатных красноцветных породах плато (Макеев О.В., 1959; Сазонов А.Г., 1969; Кузьмин В.А., 1988; Воробьева Г.А., 1972; 2009).

Дерново-карбонатные почвы на красноцветных отложениях Лено-Ангарского плато можно рассматривать как аналог почв южной тайги Предуралья – обширного региона, где почвообразование происходит на пермских красноцветных карбонатных отложениях. Это сравнение правомерно в силу сходства морфогенетических характеристик профилей, несмотря на различие климатических условий в двух макрорегионах страны. Более неоднозначно объяснение генезиса текстурно-дифференцированных почв, формирующихся в условиях холодного континентального климата плато и при близком залегании плотных

карбонатных пород. Объяснение этого феномена требует глубоких знаний о вещественном составе почв и пород, включая их минералогический состав.

Объектами исследования послужили почвы на красноцветных карбонатных отложениях Лено-Ангарского плато, отражающие реализацию структурно-метаморфического и текстурно-дифференцированного направлений почвообразования. Текстурно-дифференцированные почвы были описаны в наиболее гумидных и менее мерзлотных гипсометрических позициях, занимающих высоты более 1000 м. Структурно-метаморфические почвы формируются на более низких высотах.

Все исследованные почвы суглинистые, с высоким содержанием валового и дитионитрастворимого железа. В выщелоченной от карбонатов части профиля (мощность 30-45 см) кислотность почв закономерно возрастает. Наиболее низкие значения pH отмечены в дифференцированных разрезах. Минералогический состав всех исследованных профилей относится к слюда-хлоритовой ассоциации глинистых минералов с преобладанием диоктаэдрических минералов. Различия в минералогическом составе почв отражает пространственную вариацию минералогического состава красноцветных отложений. Ранее (Градусов, Воробьева, 1969) было показано, что преобладание более устойчивых к выветриванию диоктаэдрических минералов в почвах и красноцветных отложениях Лено-Ангарского плато, во многом обуславливает их отличие от почв Европейской территории России. Усиление профильной дифференциации минеральных фаз в исследованных нами почвах закономерно прослеживается от структурно-метаморфических к текстурно-дифференцированным почвам. Это проявляется в увеличении доли смешанослойных образований в верхних почвенных горизонтах.

Сравнивая минералогический состав почв на красноцветных отложениях Лено-Ангарского плато и Предуралья, отметим, что в исследованных почвах Лено-Ангарского плато отсутствует доминирующая в почвах Предуралья смектитовая фаза (индивидуальные смектиты). Смектиты являются наиболее неустойчивыми при кислотном гидролизе минералами, и их доля в верхней части профиля закономерно уменьшается по мере выщелачивания карбонатов (Градусов Б.П., Урусевская И.С., 1974), что и определяет выраженную дифференциацию минеральных фаз.

Таким образом, реализация текстурно-дифференцированного и структурно-метаморфического направлений почвообразования на красноцветных карбонатных отложениях Лено-Ангарского плато, выраженная на морфогенетическом уровне, подтверждается, в том числе и распределением минеральных фаз.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-04-00888; XRD-данные получены в ресурсном центре СПбГУ “Рентгенодифракционные методы исследования”.

УДК 631.48

ПРОТОПОЧВЫ СОВРЕМЕННЫХ И ДОКЕМБРИЙСКИХ ЛАНДШАФТОВ: ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Мергелов Н.С., Шоркунов И.Г., Долгих А.В.

Институт географии РАН, Москва, mergelov@igras.ru

За последнее десятилетие существенно изменились представления о распространении первых экосистем на суше. Появились данные о микробных матах на терригенных осадках возрастом старше 3.2 млрд. лет, что приближается к оценкам самой ранней микробной активности в аквальных обстановках (~3.5 млрд. л.н.). Обнаружены свидетельства существования локальных кислородных «оазисов» и окислительного выветривания в почвах возрастом более 3 млрд. лет. Парадигма «докембрийских» палеонаук аккуратно трансформируется: от «зарождения жизни в океане» до «синхронного развития биоты на суше и в океане» или даже приоритизации роли ранней наземной биоты в образовании и

развитии экосистемы планеты. Древние протопочвы возникали уже на самых первых этапах взаимодействия микроорганизмов с плотной породой, однако обнаруженные мощные профили древних палеопочв не всегда позволяют обособить первые фазы почвообразования в прокариотной биосфере. Геохимические, палеонтологические и палеогенетические данные по наземным экосистемам архея и протерозоя предоставляют новые возможности для составления пока очень грубых моделей почвенного разнообразия и структуры почвенных покровов докембрия. Методология концепции почвообразования в экстремальных условиях дает возможность поиска ближайших современных аналогов протопочв различных геологических периодов и сопоставлять их с обнаруженными ископаемыми вариантами. В сообщении рассматриваются современные аналоги древних протопочв и приводятся пока еще очень редкие свидетельства их существования в истории Земли. Обсуждаются полученные коллективом сотрудников ИГ РАН результаты исследования органоминеральных взаимодействий в протопочвах методами сканирующей электронной микроскопии (SEM), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS), КР-микроспектрометрии (μ -Raman), ^{13}C ЯМР-спектроскопии, вторично-ионной масс-спектрометрии высокого разрешения (NanoSIMS) и др. Показано, что такие принципы стабилизации органического углерода как формирование биогенных агрегатов, окклюзия, адсорбция на минеральных поверхностях (прежде всего, глинистых минералах), гидрофильно-гидрофобные взаимодействия схожи в современных и докембрийских протопочвах. Более подробно рассматриваются:

(1) подповерхностные протопочвы или криптопочвы: эндолитные и гиполитные разности. При отсутствии озонового экрана и других экстремальных факторах поровое пространство внутри скальных пород или под их обломками создавало ультрафиолетовую тень, лучше удерживало влагу и питательные элементы. Часть света проникала через полупрозрачные минералы (кварц, полевые шпаты) на глубину до 1 см, обеспечивая возможность колонизации субстрата микробными автотрофами и образования скрытых в поровом пространстве породы микропрофилей протопочв. Со временем подповерхностные разности трансформировались в поверхностные (например, эпилитные) и чередовались с ними; в интервале 1.4-0.4 млрд. л.н. в протопочвах возникла элювиально-иллювиальная дифференциация, что связано с появлением грибов и лишайников. Сейчас эндолитные и гиполитные протопочвы широко представлены в Антарктиде, жарких пустынях и высокогорных регионах и имеют аккумулятивные и элювиально-иллювиально дифференцированные профили.

(2) амфибиальные протопочвы прибрежных мелководий с субаквально-субаэральным режимом. Относительно хорошо представлены в геологической летописи в связи с особенностями осадконакопления и высокой долей окраинно-континентальных ландшафтов в докембрии. Представляют собой полиритмичные последовательности микропрофилей под микробными матами. Амфибиальные протопочвы, по-видимому, выполняли важную функцию стока органического углерода в докембрии (сейчас этот пул Сорг частично находится в составе керогена). На настоящий момент наиболее древние представители обнаружены в песчаниках и конгломератах возрастом 3.22 млрд. лет. В докладе приводятся примеры ископаемых амфибиальных протопочв в вулканогенно-осадочных толщах кратонов Каапвааль, Пилбара, а также Карельского кратона. Аналоги представлены в современных прибрежных обстановках.

(3) супрагляциальные протопочвы: органоминеральные осадки на поверхности ледников являются очень древними образованиями (история оледенений насчитывает как минимум 2.9 млрд. лет) и их значение существенно возрастало во времена масштабных похолоданий как в палеопротерозое (гуронская гляциоэра ~2.4–2.2 млрд. лет назад), так и в неопротерозое (криогений ~0.72–0.64 млрд. лет назад). Палеоклиматические модели показывают, что даже в условиях близких к Snowball Earth на континентах никогда не было недостатка в свободных ото льда территориях, а на поверхности льда могла аккумулироваться вулканическая и

континентальная пыль. Рассматриваются почвоподобные профили микробного генезиса описаны внутри органоминеральных седиментов на абляционной поверхности современных ледников и внутри отдельных гранул криоконита. В периоды масштабных оледенений супрагляциальные протопочвы вероятно были наиболее распространенными почвоподобными телами на планете и служили рефугиумами для микроорганизмов.

(4) гидротермальные протопочвы потенциально имели широкое распространение в раннем докембрии в связи с особенностями геологических процессов. Обнаружение следов микробной активности в гейзеритах возрастом 3.48 млрд. лет стимулирует поиск аналогов древних гидротермальных протопочв среди наиболее экстремальных (микробных) вариантов термозёмов – почв районов современного вулканизма.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 20-17-00212.

УДК 631.4

ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Моргач Ю.Р.

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, e-mail:

tima204@yandex.ru

Представления об экологических функциях почв были предложены еще в 1980-ых годах, где все многообразие экофункций было разделено по масштабам проявления – глобальные и биогеоценоотические. В настоящее время, в связи с постоянным ростом площадей добывающей промышленности исследования экологических функций почв антропогенно-нарушенных территорий приобретают все большую актуальность. Любое изменение в естественной экосистеме, в том числе и антропогенное, приводит к новым аспектам в проявлении выполняемых почвой экологических функций или полное их прекращение. Изучение экосистемных функций почв согласно современной классификации экосистемных услуг МЕА (Millennium Ecosystem Assessment) проходило на различных горнопромышленных комплексах Ленинградской области. Разработка месторождений является масштабным техногенным воздействием на все компоненты окружающей среды, в том числе и почву. В работе рассмотрены обеспечивающие, регулирующие, поддерживающие и культурные экосистемные услуги почв карьеров по добычи песчано-гравийного материала (1 действующий карьер в Подпорожском районе и 7 заброшенных карьеров в Тосненском, Подпорожском, Тихвинском и Лужском районах), гранита (3 действующих карьера в Выборгском районе) и торфа (3 заброшенных торфоразработки в Волховском, Тихвинском и Лужском районах).

Оценивать экосистемные услуги почв карьеров и примыкающих к ним территорий в том же объеме, что и услуги естественных почв, некорректно. При изучении почв горнопромышленных комплексов необходимо оценивать только те услуги, характеристики которых изменяются в результате добычи полезных ископаемых.

Территория горнопромышленных комплексов представляет собой сложную систему, состоящую из естественных и разной степени нарушенности почв, а также непочвенных образований (НПО). НПО представлены бесструктурным органоминеральным материалом, непригодным для произрастания растительности. На таких территориях полностью перестают выполняться биогеоценоотические функции. На горнопромышленном комплексе по добычи гранита НПО занимает более 20% от общей площади карьера и прилегающей к нему территории и приурочено к бортам и дну карьера. На песчаных карьерах 20-65% от общей площади карьера занимают НПО. Подобное распределение площадей НПО на

территории горнопромышленного комплекса показывает, что более чем на четверти территории выполнение обеспечивающей экосистемной услуги (функция механической опоры) невозможно.

Слаборазвитые почвы, образующиеся в условиях межгребневидного рельефа в результате технологий добычи и складирования вскрышного материала, в западинах накапливают мелкозем и большое количество органического материала. Содержание гумуса в почвах и мощность гумусового горизонта напрямую связаны с выполнением обеспечивающих услуг (обеспечение продуктами питания, чистой водой, энергетическими ресурсами и т.д.). Кроме того, малогумусированные почвы менее устойчивы к эрозионным процессам, что снижает выполнение почвами и регулирующих функций. Формирование гумусовых горизонтов в техногенно-холмообразном рельефе отмечено преимущественно на территории прилегающей к карьерам по добычи песчано-гравийной смеси.

Широкое распространение в Ленинградской области имеют ареалы торфяно-болотных низинных и верховых почв. Болотные экосистемы занимают 13% от всей площади области и выполняют регулируемую экосистемную услугу обеспечивая поглощение и удержание некоторых парниковых газов, главным образом CO₂. Торфоразработки представляют собой территории с частично или полностью удаленной торфяной толщей и участками, сохранившие естественные торфяные почвы. В результате антропогенного воздействия на торфяные болота происходит изменение баланса углерода в атмосфере, и фиксация углекислого газа почвами выработанных торфяников практически не происходит.

На территориях, прилегающих к горнопромышленным комплексам, отмечается снижение регулирующей услуги, выполняемой функцией «защитный барьер биогеоценоза». Вокруг карьеров по добычи гранита на расстоянии более 300 м от выработки отмечена запыленность, связанная с технологическим процессом добычи и транспортировки материала. Аналогичная ситуация наблюдается вокруг карьеров по добычи песка, за исключением оседания на поверхность почвы песчаного материала, переносимого с незакрепленной растительностью территорий.

При открытой добычи полезных ископаемых происходит кардинальное изменение факторов почвообразования, что является изменением поддерживающих экосистемных услуг. В результате разработки карьеров кардинальным образом изменяются или полностью уничтожается растительность, почвы, гидрогеологические условия территории и формируются новые техногенные формы рельефа.

В практическом плане изучение территорий горнопромышленных комплексов связано с культурными услугами. После прекращения добычи ископаемых, благодаря своим уникальным и дифференцированным формам, заброшенные карьеры могут вовлекаться в развитие рекреационной деятельности. Обводненные карьерные выемки используются как пляжный отдых, места рыбалки и дайвинга. Террасированные сухие карьеры с выраженным рельефом подходят для развития пешего туризма, велоспорта и скалолазания.

Привлекательность заброшенных карьеров в рекреационных целях связана с транспортной доступностью. В результате разработки месторождения проектируются подъездные пути, которые в дальнейшем используются населением.

На всех обследованных заброшенных песчаных карьерах было отмечено стихийное рекреационное воздействие в виде пляжного отдыха. Выработанные торфоразработки использовались как охотничьи угодья и места сбора ягод. Карьер по добычи гранита – действующий, в результате чего культурные услуги на нем не выполняются.

Тенденции антропогенных изменений функций почв горнопромышленных комплексов зависят от типа добываемого материала. В каждом конкретном случае необходимо определять свой спектр экосистемных услуг и давать им оценку.

СТРОЕНИЕ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПОГРЕБЕННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ ПОЧВ ЖИЛЫХ РАЙОНОВ Г. ПЕРМИ

Москвина Н.В.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

E-mail: nvmoskvina@mail.ru

Город Пермь в 2023 г. отметил 300-летие. В течение этого периода существенно изменились границы города, неоднократно менялся преобладающий тип застройки, технологии строительства и применяемых материалов, степень антропогенного воздействия на почвенный покров. Мы предположили, что все эти факторы нашли отражение в памяти почв и повлияли на их формирование и трансформацию. Целью работы было изучение строения и свойств погребенных и современных городских почв.

В истории г. Перми мы выделили несколько периодов. Период преобладающей деревянной застройки продолжался более 100 лет. Позднее наряду с деревом основным строительным материалом стал красный глиняный кирпич, который производился сначала кустарным, а позже – фабричным способом. Сырьем служила глина с месторождений в Пермском крае. После войны в Перми появились кварталы со «сталинской» застройкой. В 1960-е годы в городе начало свою работу предприятие «СтройПанельКомплект». Это был расцвет «карбонатной» эпохи – силикатный кирпич, изготовленный из песка, извести и воды, а также бетон стали основными строительными материалами. Кварталы «брежневок» и «хрущевок» возникли на месте бывших полей и деревень; город рос вширь. Начиная с 2000-х годов, в городе активизировалась точечная застройка с применением технологии монолитно-каркасного строительства. Современные жилые комплексы возводятся как на ранее не застроенных территориях, так и на месте старых снесенных домов в центральной части города.

Исследования современных городских почв с дневными горизонтами проводились с 2000 г. Погребенные городские почвы изучались в 2021-2023 г. на территории исторического центра г. Перми. Работы проводились совместно с сотрудниками Камской археологической экспедиции под руководством М.К. Мингалевой и Л.В. Романовой, а также ООО «Экспедиция» (г. Липецк) под руководством И.А. Козмирчука.

Выявлены сходства и отличия в строении профилей погребенных и современных почв жилых районов. Основные диагностические горизонты почв современных жилых многоэтажных районов – ТСН, UR, RT (RAT). Значительная часть современного почвенного покрова запечатана асфальтом. Почвенный профиль на месте археологических раскопок в центре Перми состоит, как правило, из серии горизонтов ТСН, под которыми погребены урбоагроземы либо срединные и/или нижние горизонты зональных почв.

Обнаружены отличия в составе включений в погребенных и современных почвах. В погребенных почвах периода деревянной застройки преобладают включения органической природы – уголь, щепа, позднее – обломки красного глиняного кирпича. В современных почвах возрастает доля включений труднорастворимых карбонатных строительных материалов, пластика, стекла.

В современных городских почвах отмечен сдвиг реакции среды в щелочную сторону и увеличение содержания карбонатов по сравнению с погребенными.

Обеспеченность подвижными фосфатами поверхностных слоев современных городских почв, определенная в вытяжке по Мачигину, была преимущественно высокой и очень высокой. В погребенных почвах содержание подвижных фосфатов достоверно выше, чем в современных: в среднем 27 мг/100 г. В профилях изученных разрезов наиболее высоким содержанием подвижных фосфатов отличаются постагрогенные горизонты.

Органогенные горизонты современных почв формируются либо при естественном самозаращении почвогрунтов, либо при внесении органики с целью рекультивации почв.

Органогенные горизонты погребенных почв представлены погребенными серогумусовыми

горизонтами зональных почв либо агрогумусовыми/постагрогенными горизонтами, что обусловлено типом застройки (преимущественно малоэтажная, часто деревянные дома с приусадебными участками) и функциональным использованием почвенного покрова в ранние периоды истории города. В изученных профилях погребенных почв отсутствуют торфяные горизонты RT (поверхностные торфяные слои квазиземов, широко представленных в почвенном покрове современных жилых районов).

Торфяные горизонты современных квазиземов изначально резко отличаются кислой реакцией среды, отсутствием/малым содержанием карбонатов, очень высоким содержанием органического углерода, более низким содержанием подвижных фосфатов. Однако со временем содержание органического углерода снижается, реакция среды сдвигается в щелочную сторону, растёт содержание карбонатов и подвижных фосфатов.

В современных поверхностных органогенных слоях активно идут разнонаправленные процессы трансформации органического вещества: минерализация органики в квазиземах торфяных (об этом свидетельствует высокая интенсивность почвенного «дыхания» и активность инвертазы, снижение содержания C орг со временем) и процессы гумусообразования в органогенных горизонтах остальных незапечатанных типов городских почв.

Погребенные органогенные горизонты менее карбонатны, имеют преимущественно нейтральную реакцию среды, среднее содержание гумуса. Содержание подвижных фосфатов намного выше, чем в современных органогенных горизонтах, что объясняется применением органических удобрений, золы, а также привнесом органического мусора. В погребенных органогенных горизонтах снижается интенсивность почвенного «дыхания» и активность инвертазы, что связано с отсутствием поступления свежей органики и анаэробными условиями. В то же время в них высока уреазная активность, что может свидетельствовать о применении навоза в качестве органического удобрения.

Существуют различия во вкладе антропогенного фактора в геохимическую миграцию и циклы основных элементов-органогенов в разные периоды истории города. С широким применением торфа для рекультивации и карбонатных строительных материалов усилился антропогенный вклад в цикл углерода.

Таким образом, за 300 лет истории города можно отметить следующие тренды городского почвообразования: увеличение доли трудноразлагаемых строительных материалов в почвенном профиле; появление большого количества включений карбонатных строительных материалов в современных городских почвах, увеличение содержания карбонатов в поверхностных слоях (и в подповерхностных в результате перемешивания); как следствие – сдвиг реакции среды в щелочную сторону; изменение подвижности микроэлементов; изменение содержания и состава органического вещества в современных почвах по сравнению с погребенными (навоз/торф); изменение водного и воздушного режимов на значительных площадях в современных жилых районах вследствие запечатывания асфальтом, а также перераспределение поверхностного стока. Функции почвенного покрова выполняют незапечатанные почвы, площадь которых не очень значительна в современных жилых районах.

УДК 631.445

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ БАЗОВОЙ КЛАССИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОЧВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Никифорова А.А.¹, Белёнова Н.К.², Флейс М.Э.³

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, nikifsoil@mail.ru;

²ИГ РАН, Москва, fleis.maria@yandex.ru;

³ЦЭМИ РАН, Москва, nk.belenova@gmail.com

К базовой классификационной системе почв (далее – БКСП) предъявляются следующие требования: она должна «разрабатываться как мировая», «допускать включение новых компонентов» (Добровольский и Трофимов, 1996, с. 61-62); представлять собой «основной инструмент, интегрирующий информацию по агроэкологической оценке земель» (Кирюшин, 2011, с. 179); быть официальной и пригодной «для картографирования почв, государственного учета и оценки почвенных ресурсов», включать «диагностические и описательные аспекты», а также «возможность прогностического ее использования» (Фридланд, 1983, с. 6-7). Одновременно высказывается убеждение, что без системного подхода создание БКСП «неосуществимо» (Васильевская и др., 2000, с. 17). Но какой должна быть БКСП: естественной или искусственной, концептуальной или численной, генетической или морфологической, фундаментальной или прикладной, иерархической или неиерархической? Эти вопросы по-прежнему остаются без ответа.

Создание БКСП считается одной из самых амбициозных и трудно выполнимых задач, что в первую очередь связывается с чрезвычайной сложностью почв как полифункциональных природных образований, нередко характеризующихся высокой пространственной изменчивостью и континуальностью границ. Однако действительными препятствиями на пути к созданию БКСП следует признать прежде всего философские понятийно-терминологические неопределенности современных теорий классификации и системного подхода. С преодоления этих неопределенностей и было начато наше исследование. В результате было получены: 1) понятийно-терминологический аппарат современных теорий классификации для целей создания БКСП, включающий определения концептуальной классификации, концептуальной классификационной системы, классифицирования, оснований деления и диагностических признаков объектов классификации, и 2) понятийно-терминологический аппарат системного подхода для целей создания БКСП, включающий определения иерархии систем, материальных систем, их элементов, структуры и эмерджентных свойств.

Далее, на основе полученного понятийно-терминологического аппарата системного подхода и определения почв В.В. Докучаева (1881, с. 5, 1886, с. 227) была разработана системная концепция почв и ландшафтов, в которую вошли определения ландшафтов как систем, элементов ландшафтов, почв как систем, почв как производных элементов ландшафтов и вертикальной структуры ландшафтов. Также, в рамках системной концепции почв и ландшафтов дано описание диагностических признаков и эмерджентных свойств почв и ландшафтов и обосновано отсутствие у ландшафтов горизонтальная структуры.

На следующем этапе на основе полученного понятийно-терминологического аппарата современных теорий классификации и системной концепции почв и ландшафтов разрабатывались теоретические принципы и технология создания почвенно-ландшафтной классификационной системы (далее – ПЛКС), отличительными особенностями которой являются: 1) наличие двух объектов классификации – ландшафтов как систем (преимущественно почвенных, то есть ландшафтов с почвами) и почв как производных элементов почвенных ландшафтов; 2) полная иерархическая структура в виде сильно разветвленного перевернутого классификационного дерева с полным набором иерархических уровней – от исходного множества почв и ландшафтов до отдельных почв и ландшафтов с однородными свойствами; 3) отсутствие уровней архетипов – первичных, исходных образов почв или представлений о них, выделяемых сразу по целому ряду признаков (Шрейдер, 1983) (архетипами являются, например, типы почв в классификационных системах почв СССР и России); 4) отсутствие названий у таксонов почв и ландшафтов с заменой их на номера иерархических уровней; 5) разделение оснований деления и диагностических признаков почв и ландшафтов: если первые служат для классификации почв и ландшафтов, то вторые – для их идентификации, или классифицирования; 6) объективность выбора и ранжирования оснований деления, осуществляемых в соответствии с разработанными объективными правилами, в том числе

правилом, предусматривающим использование за один раз только одного основания деления, представленного одним существенным свойством; 7) новая номенклатура почв и ландшафтов, отражающая их существенные свойства; 8) одинаковость оснований деления ландшафтов (преимущественно почвенных) и сопряженных с ними почв, представленных на первых трех уровнях существенными свойствами ландшафтов как систем, а на всех последующих уровнях – существенными свойствами основных элементов ландшафтов (горных пород, воды, воздуха и организмов). В результате последовательное деление почвенных ландшафтов сопровождается одновременным последовательным делением сопряженных с этими ландшафтами почв.

ПЛКС создается в процессе мультимасштабного почвенно-ландшафтного ГИС-картографирования, основанного на экспертном анализе всех доступных данных о почвах и ландшафтах картографируемой территории (и прежде всего картографических источников) на примере равнинной территории Европейской части России (от тундры на севере до полупустыни на юге) и Саратовской области, отличающейся разнообразием природных условий. При этом под мультимасштабными почвенно-ландшафтными картами понимается система согласованных почвенно-ландшафтных карт всех масштабных диапазонов, имеющих единую классификационную основу (ПЛКС), содержащих интегрированные данные о почвах и ландшафтах (главным образом почвенных) и системно отражающих почвенно-ландшафтные связи.

Технология создания мультимасштабных почвенно-ландшафтных карт в программной среде ГеоГраф ГИС 2.0 включала: 1) выбор и сканирование картографических источников; 2) преобразование систем координат растров картографических источников в базовую систему координат, а именно коническую равнопромежуточную проекцию Красовского с осевым меридианом 40 градусов восточной долготы; 3) выбор масштабных диапазонов и географических основ; 4) организацию данных о почвах и почвенных ландшафтах в виде ГИС-проектов (подготовительных и интегральных) и ГИС-карт; 5) создание квазилегенд, заменяющих бумажные легенды картографических источников и существенно облегчающих работу с большим их количеством; 6) выборочную векторизацию растров традиционных бумажных карт; 7) создание интегральных полигональных слоев; 8) создание тем интегральных полигональных слоев для автоматизированного получения почвенно-ландшафтных карт различной тематики и оформления.

Для разработки и удобства использования ПЛКС создана специальная платформа – многопользовательская, двуязычная (рус.-англ.), иерархическая онлайн информационная система, позволяющая вводить, хранить, редактировать, анализировать интегрированные данные о почвах и ландшафтах, а также просматривать отдельные фрагменты ПЛКС без написания дополнительных программ (<https://slcs-2021.ru/>), которая однако в настоящее время по объективным причинам не работает.

ПЛКС создается как концептуальная, естественная, генетическая, логически корректная (то есть не нарушающая правил логического деления понятий) и статическая. Она отвечает требованиям, предъявляемым к статической БКСП, но в будущем может быть преобразована в эволюционную фундаментально-прикладного плана.

В настоящее время наиболее разработанная ветвь ПЛКС имеет 11 уровней, основания деления разработаны для 15 классов ландшафтов и, соответственно, 15 классов почв, а диагностические признаки – для 45 классов ландшафтов и 45 классов почв.

УДК 631.48:631.41

ПАЛЕОКРИОЛИТОПЕДОГЕНЕЗ И ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ ЦЕНТРА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Овчинников А.Ю.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, ИФХиБПП РАН, Пушкино, e-mail ovchinnikov_a@inbox.ru

Проблема взаимоотношения почвы и окружающей среды является одной из актуальных в современном почвоведении, особенно она важна в исследованиях, связанных с изучением генезиса почвообразующих пород и сформированных на них почв. Различные отложения позднего плейстоцена длительное время являются объектом исследования многих почвоведов, так как являются почвообразующими породами для современных почв. Особый интерес связан с существующими в них многочисленными реликтами палеокриогенеза и перигляциального педогенеза, которые оказывают существенное влияние на современное (голоценовое) почвообразование. К числу наиболее сохранившихся и информативных относятся реликтовые палеокриогенные признаки и явления, а из них к числу наиболее заметно влияющих на голоценовое почвообразование относятся реликтовые полигонально-жильные структуры, формирующие на поверхности палеокриогенный микрорельеф, который определяет эволюцию современных почв центра.

В настоящей работе ставится проблема установления связи между длительными во времени процессами криолитопедогенеза позднего плейстоцена и голоцена, сформировавших палеокриогенный микрорельеф (за счет палеокриогенных структур, создающих литологическую неоднородность почвообразующих пород), который определил формирование современного почвенного покрова, состоящего из почвенных микрокомбинаций. Эволюция почв рассматривается с позиций совокупности процессов и факторов, стартовавших в позднем плейстоцене и заложивших исходную «матрицу» для дальнейшего почвообразовательного процесса, но уже в голоцене определивших формирование современных почв центра Восточно-Европейской равнины, то есть длительного процесса - палеокриолитопедогенеза.

В работе впервые предлагается новое понятие «криолитопедогенез». Криолитопедогенез – совокупность сменяющих друг друга или происходящих одновременно крио-, лито-, педогенных процессов, формирующих почвы и почвенный покров за интервал времени (включающий гляциал и интергляциал). В данной работе временной интервал включает эпоху поздневалдайского оледенения, когда происходили процессы крио-, лито- и синлитогенного педогенеза, сформировавшие почвообразующие породы современных почв, и эпоху межледниковья – голоцен, когда процессы литогенеза и доминирующего педогенеза унаследовали результаты перечисленных выше процессов предшествовавшей эпохи. Совокупное действие данного сложного и длительного по времени процесса привело к формированию современного почвенного покрова. Предполагается, что фактор климата в позднем плейстоцене определил процессы крио-, лито- и педогенеза, сформировав почвообразующие породы и палеокриогенные структуры в них, тем самым создав их стратиграфическую и литологическую неоднородность, которая в дальнейшем проявилась в неоднородности дневной поверхности в виде микрорельефа. В голоцене факторы времени, климата, микрорельефа и пространственная неоднородность почвообразующих пород определили сценарии формирования структуры почвенного покрова (СПП) и формирования почвенных комбинаций. Так как часть территории Восточно-Европейской равнины с момента формирования почвообразующих пород современных почв располагалась в перигляциальной зоне валдайского оледенения и испытала действие процессов палеокриогенеза, к таким почвенным комбинациям предлагается применять термин «палеокриолитогенные» (палеокриолитогенные почвенные комбинации (ПалеоКриолито ПК (или ПКЛ ПК)). Приставка «палеокриолитогенные» или термин «палеокриолитогенные почвенные комбинации» предлагается впервые, и, вероятно, его можно будет использовать к почвенным комбинациям, сформированным на палеокриогенно-преобразованных территориях.

Таким образом, результаты многолетних исследований показали следующее:

Процесс криолитопедогенеза – это единое взаимозависимое развитие трех природных компонентов: участков земной поверхности (палеокриогенный микрорельеф), пород, слагающих эти поверхности, и почв, сформированных на данных породах.

Циклические изменения палеоклимата в позднем плейстоцене создавали условия для осадконакопления из переносимого и перераспределяемого по дневной поверхности материала и его специфической в перигляциальных условиях палеокриогенной и в меньшей степени педогенной проработки. В результате этих процессов сформировались палеокриогенно-преобразованные толщи, которые выступают в роли почвообразующих пород для голоценовых почв и определяют внутрипрофильный литогенный фон для формирования неоднородности дневной поверхности (палеокриогенный микрорельеф).

Данные литературы и собственные исследования, показали, что на территории исследования отчетливо проявляется палеокриогенный микрорельеф, представленный упорядоченной в пространстве системой полигонов-блоков и разделяющих их межблочных понижений, которым в разрезах соответствуют лежащие ниже палеомерзлотные клиновидные деформации, получившие широкое распространение около 20-14 тыс. л.н.

Климатические условия в голоцене и сформированный палеокриогенный микрорельеф создают «матрицу» для голоценового педогенеза, а почвы, формирующиеся в данных условиях, наследуют признаки, рожденные в предыдущие эпохи, и на разных элементах микрорельефа развиваются по разным сценариям почвообразования.

Почвенный покров, сформированный на палеокриогенно-преобразованных территориях, представлен двуединым телом (почвы блока и межблочья) взаимосвязанных элементарных почвенных ареалов (ЭПА), формирующих палеокриолитогенные почвенные комбинации (ПалеоКриолито ПК (или ПКЛ ПК)).

УДК 631.44

СУПРАГЛЯЦИАЛЬНЫЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ. МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Петров Д.Г., Шматова А.Г.

ИГ РАН, Москва, e-mail pd437807@mail.ru

В настоящий момент мы можем рассматривать снежные и ледовые пространства как биомы, в которых, несмотря на суровость внешней среды, на привнесённом минеральном материале развиваются микроорганизмы и накапливается органический углерод. Сосредотачиваясь в особых структурах снежного и ледового покровов, вызванных внешними факторами, органо-минеральный материал трансформируется в особую систему. Исследование таких систем помогает глубже понять пределы и закономерности распределения криоконитов – органо-минеральных образований, которые со временем могут становиться почвоподобными телами (солоидами) и, приобретая горизонтальную упорядоченность, слаборазвитыми почвами ствола первичного почвообразования (пелоземами). Исследуемые снежники – скопления льда и снега, сохраняющиеся на земной поверхности в течение части теплого сезона – могут рассматриваться как системы, в которых происходит начало саморегуляции органо-минеральных систем в почвоподобные тела.

Целью исследования было определить основные стадии распределения минерального, органо-минерального и органогенного материалов по поверхности снежников; обозначить начальные стадии трансформации и перераспределения минерального материала в период таяния снега. Материал, кратковременно перераспределяемый по поверхности снежника, будет сравнен с переотложенными криоконитами на леднике ИГ АН (Полярный Урал – N 67.575941°; E 66.004416°; дата исследования 18 августа 2023 г).

Эксперимент проводился в восточной части о. Колгуев (N 69.12681°; E 49.95599°) с 8 июня по 3 июля 2023 г. В качестве объекта исследования было выбрано пять снежников: ЗЛ1, ЗЛ2, ЗЛ3, ВЛ4, ВЛ5. Все снежники имели разные параметры крутизны и экспозиции, что

определяло воздействие на них краткосрочных погодных факторов, наиболее важным из которых был ветер. Экспозиция снежников была такой: ЗЛ1 – СВ; ЗЛ2 – СВ; ЗЛ3 – ССВ; ВЛ4 – ССЗ; ВЛ5 – ССВ°. Крутизна участков заложения площадок колебалась от 3° (ВЛ4-5) до 4-6° (ЗЛ1-3). На каждом снежнике было заложено по 4 площадки (всего 20) площадью 1 м², на которых оценивалось перераспределение привнесенного материала. На двух снежниках (ЗЛ1, ВЛ5) на площадки был привнесен минеральный материал песчаного состава, а на остальные (ЗЛ2, ЗЛ3, ВЛ4) – суглинистого (далее «привнесенный материал»). Стерилизованный (прокаленный) материал суглинистого состава был добавлен из расчета 70 г на площадку (всего 840 г); стерилизованный песчаный из расчета 125 г (всего 1000 г). Эксперимент продолжался до полного таяния снежников в период 8-24 дня. Часть площадок (12) были расположены приблизительно в центральной части снежников (ЗЛ2, ЗЛ3, ВЛ4), а часть ближе к стоку (8) (ЗЛ1, ВЛ5) (рис.1). Кроме наблюдения за привнесенным в ходе эксперимента материалом отмечалось также проективное покрытие попавшего естественным путем детрита и песка.

Результаты исследований показали, что привнесенный материал уже за день частично втаил в поверхность снежника на 1,5-2,0 см, что привело к тому, что до таяния площадок проективное покрытие (ПП) песка было высоким – в среднем 70 ± 10 с коэффициентом вариации (V) равным 17% (ЗЛ1) и суглинка 80 ± 10 с $V = 15\%$ (ЗЛ3). Из анализа были исключены даты непосредственного таяния площадок. За время проведения эксперимента часть привнесенного материала переносилась по поверхности снежника в несколько стадий, разнесенных по времени, в результате чего к концу работ остался наиболее тонкий материал, который проник глубоко под поверхность снега. При образовании радиационной корки в солнечные дни естественный и привнесенный материалы сносились с поверхности снежника, кроме тех частичек, которые втаили на значительную глубину. Основным фактором переноса материала, как естественного, так и привнесенного в условиях о. Колгуев являлся ветер, поскольку он оказывал перманентное влияние на тестовые площадки (водный перенос наблюдался только в теплые дни). Снежник ВЛ5, который имел наиболее открытое положение, в результате действия ветра покрывался естественным материалом на 30-50% ПП площади поверхности, тогда как «укрытые» снежники имели покрытие естественным материалом до 10-30% и в случае осадков или радиационной корки ПП естественного материала опускалось до нуля. При повышении температуры воздуха до ≈ 10 °С поверхность снежника затвердевала с 200 до 1000 -1200 Н (до твердости льда), а влажность опускалась с 15 до 5% – при этом перенос материала водой становился максимальным. Сравнение изменений ПП привнесенного суглинка по площадкам во времени в течение 24 дней выявило хорошую корреляционную связь между снежниками с привносом суглинистого материала ЗЛ2 и ЗЛ3 ($R^2 = 0.88$); аналогичное сравнение для снежников ЗЛ1 и ВЛ5 с привнесенным песчаным материалом за 14 дней показало коэффициент детерминации равный 0.69. Обнаружено, что привнесенный материал к середине эксперимента привел к вытаиванию чаши по площади некоторых площадок (1 м²) с высотой бортов 2-10 см, иногда нескольких в ряд (линия до 4 x 1 м) а также образованию стаканоподобных структур глубиной 2-3 см (рис.1). В этих локальных понижениях к концу эксперимента накапливался, кроме привнесенного, и естественный материал. Теоретически, такие структуры, заполненные органо-минеральной смесью, могут способствовать образованию солоидов и началу экстремального почвообразования по С.В. Горячкину с соавторами. При этом в зоне интенсивного влияния ветра (ВЛ5) чашеобразные структуры оказались «отшлифованы» и преобразованы в волнистый или даже произвольный тип поверхности снежного покрова. Сравнение с ледником ИГ АН показало, что формированию почвоподобных структур препятствует короткая жизнь снежников; некоторое подобие отдельных структур (например, стаканов) наблюдалось.

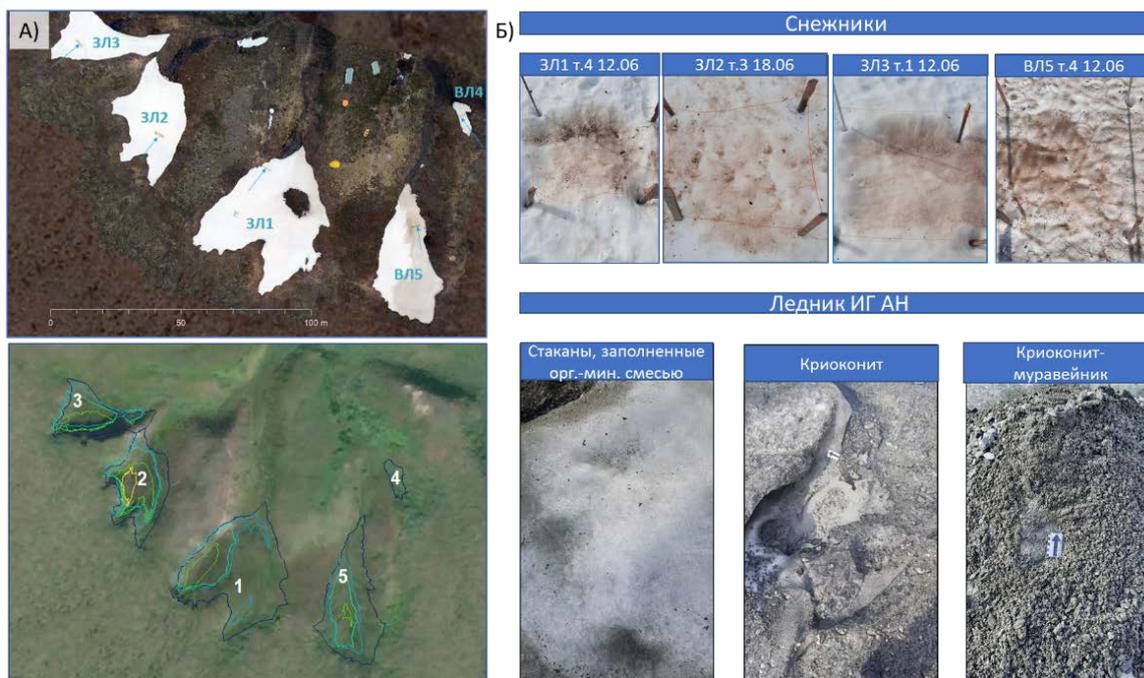


Рисунок 1. Площадь и морфология поверхности снежников. А) – уменьшение площади снежников в течение эксперимента 8.06.23-06.07.23 Б) – чашеподобные структуры (ЗЛ1-3) и воздействие ветра (ВЛ5), а также сравнение с криоконитами ледника ИГ АН.

Сформулировано несколько выводов: 1) снежкики являются звеном в циклах переноса и аккумуляции материала, степень их участия определяется положением в рельефе – открытостью ветрам, экспозицией, крутизной, а также погодными явлениями, которые влияют на прочность поверхности снежника; 2) Цвет (альбедо) и гранулометрический состав материала влияют на образование вогнутых структур на поверхности снежника (втаивание): первого порядка – чашеобразных и второго порядка – стакановидных.

Работа выполнена в рамках РНФ 20-17-00212 «Ледники и почвообразование: супрагляциальные органо-минеральные системы, их разнообразие, география, цикл углерода и биосферная роль»

УДК 631.4

ДЕРНОВО-ПСАММОКАРБОНАТНЫЕ ПОЧВЫ ВЕРХНЕВЕТЛУЖСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

А.М. Прокашев^{1,2}, Б.А. Ананченко¹, А.В. Тюлькин², И.А. Варган¹, А.С. Матушкин¹, Д.Ю. Чижов¹

¹Вятский ГУ, Киров, amprokashev@gmail.com

²Вятский ГАТУ, Киров

Дерново-псаммокарбонатные почвы – новый тип в составе почвенного покрова Верхневетлужской низменности. Объект и предмет исследования – почвы останцовых форм рельефа междуречья верхней Ветлуги и Моломы, их гранулометрический, валовой химический состав и свойства и плодородие.

Специфика региона заключается в его сложной геологической истории, в которой можно выделить два принципиально различных этапа: позднепермский и четвертичный. На первом из них происходила седиментация палеоречных руслово-дельтовых наносов, сносимых с высокого герцинского Урала, а на втором моделировка поверхности при участии гляцио-флювиогляциальных процессов. В совокупности это определило сложное пространственное соотношение коренных и четвертичных отложений, в том числе – степень преобразования первых из них на последнем этапе геоморфологического развития. Последнее породило различие взглядов на предмет генезиса некоторых положительных форм рельефа (по-

местному – «пуги»). Одними исследователями они трактуются как коренные гравийно-песчанниковые образования, другие рассматривают их в качестве палеоледниковых аккумуляций камового характера. Неоднозначность генетических трактовок в сочетании с ограниченностью данных о вещественном составе холмообразных мезоформ поверхности привлекло наше внимание к рассматриваемой проблеме.

Район исследования – Свечинские Увалы – низменная в целом равнина со спокойными холмисто-мягкоувалистыми формами. Преобладающие абсолютные высоты 140–150 м, относительные – 30–40 м. На севере рассматриваемые нами Увалы отделены Ветлужско-Куринской депрессией от Даровских Увалов, морфоструктурного элемента южной покатости более крупной макроструктуры – Северных Увалов. На юге Увалы через Шабалинско-Полунинский куэстовый уступ сменяются более спокойной по рельефу Ветлужско-Пижемской низиной. Поверхностный чехол местных горных пород неоднороден. Он являет собой чередование преимущественно древних плащеобразно залегающих пермских отложений. Их относительно компактные массивы в депрессиях рельефа «инкрустированы» за счёт мозаичного вкрапления ареалов среднеплейстоценовых флювиогляциальных или аллювиально-флювиогляциальных осадков протяженностью от 1–2-х до 4–6 км в поперечнике. Над ними иногда возвышаются одиночные караваеобразные холмы – объект настоящих наблюдений.

Данные холмы, судя по литологии, исследуемые холмы представляют собой останцовые выступы палеоречных песчаных наносов, сцементированных в поздней перми – раннем триасе известковистым материалом. С поверхности карбонатные песчаники могут быть выщелочены на различную глубину, в зависимости от исходной степени карбонатности и экспозиции склонов – от первых дециметров до 1 м и более. В четвертичное время холмы подвергались избирательной моделировке ледником и его талыми водами, стекающими с южной покатости Северных Увалов. Это способствовало обособлению останцов из наиболее крепких пород и возвышению их над низменной равниной за счёт сноса полыми ледовыми водами значительной поверхностной толщи рыхлого местного и приносного материала.

Характерными особенностями вертикального строения рассматриваемых холмов являются: а) литологическая неоднородность из-за различной степени карбонатности песчаников, присутствия прослоев карбонатного щебня и глинистых микрослойков; б) наличие обильных вишнево-сиреневых налетов $MnO \cdot nH_2O$ в местах концентрации известковистых материалов; в) увеличение глубины выщелачивания кальцита на уплощенных вершинах холмов и на более влажных склонах северной и восточной экспозиции; г) педогенная трансформация коры выветривания с образованием специфических – дерново-псаммокарбонатных почв на карбонатных субстратах и дерново-подзолов на выщелоченном элювии песчаника. В качестве примера приводится разрез М-2 рендзины малогумусной песчаной на элювии песчаника карбонатного заложенного на склоне холма западной экспозиции с углом наклона около 10^0 , покрытом злаково-разнотравным ксероморфным лугом высотой 25 см и проективным покрытием 50%.

Гор. АУса (0–24 см): влажноватый, серо-коричневый, местами с сиреневым оттенком, песчаный с частыми включениями беловато-сероватых фрагментов карбонатного песчаника, непрочно-мелкокомковатый, близкий к бесструктурному, рассыпчатый, плотный (из-за включений карбонатного песчаника), реагирует с 10% HCl, локально наблюдаются субгоризонтальные сиреневатые налёты гидроксидов Mn, корней много, переход ясный, волнистый, близкий к постепенному.

Гор. АУРса (24–35 см): влажный, коричневый с сиреневым оттенком и сероватыми пятнами, песчаный с обильными, практически сплошными скоплениями щебня, препятствующими углублению шурфа, энергично реагирует с HCl, корни редкие, переход в более глубокие толщи не возможен из-за сплошного залегания карбонатного песчаника.

В составе мелкозёма ведущее место принадлежит песчаным фракциям: доля физической глины составляет менее 10% во всех генетических горизонтах (табл. 1). Признаки

вертикальной неоднородности профиля обусловлены в основном не педогенными, а литогенными причинами.

Таблица 1А - Гранулометрический состав дерново-псаммокарбонатных почв Верхневолжской низменности

Горизонт: глубина образца, см	Гигро- влага, %	Размер фракций в мм, в расчёте на сухую почву						
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	0,001	<0,01
Разрез М-2: Рендзина псаммокарбонатная малогумусная песчаная на элювии песчаника								
АУса: 1–10	1,03	44,8	21,4	28,0	2,6	2,8	0,4	5,8
АУса: 12–22	1,04	59,5	30,1	5,5	2,7	0,4	1,7	4,8
АУRca: 24–34	1,03	61,4	32,4	2,2	2,1	1,0	1,0	4,1

В валовом химическом составе почв и почво-грунтов доминируют оксиды Si, хотя содержание SiO₂ явно занижено, а Al₂O₃ и Fe₂O₃ завышено ввиду специфики RFA-метода анализа. Содержание оксидов Mg, Na, K и Ti весьма стабильно. Профильное распределение CaO варьирует в широком интервале значений ввиду неоднородности породы и степени её выщелоченности. Обращает внимание исключительно высокое количество оксида Mn, активно аккумулируемого на известковистых почво-грунтах. Благодаря характерной сиренево-фиолетовой окраске соединения марганца хорошо заметны на стенках почвенных разрезов и карбонатных материнских пород.

Таблица 1Б - Валовой химический состав дерново-псаммокарбонатных почв Верхневолжской низменности

Горизонт: глубина образца, см	% от прокаленной почвы								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO
Разрез М-2: Рендзина псаммокарбонатная малогумусная песчаная на элювии песчаника									
АУса: 1–10	70,8	12,0	6,0	4,8	1,8	1,8	1,4	0,7	0,68
АУса: 12–22	75,0	11,1	5,9	1,7	1,8	1,8	1,3	0,6	0,78
АУRca: 24–34	71,6	10,4	5,9	6,8	1,7	1,4	1,2	0,5	0,72

Выводы. Останцы, сложенные элювием карбонатных песчаников, являются прародителем нового, не известного ранее типа дерново-псаммокарбонатных почв. Благодаря своеобразию почвообразующего субстрата и ограниченному распространению данные почвы представляют собой раритеты в составе почвенного покрова вятской земли. Дополнительно предлагается включение в состав процессных признаков, предусмотренных в классификации и диагностике почв России 2004 г., новообразований гидроксидов марганца под индексом «mn».

УДК 631.481

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПОЙМЕННЫХ ОСТРОВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Рязанов С.С., Кулагина В.И.

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (обособленное подразделение ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»), Казань, e-mail: RStanislav.soil@gmail.com

Острова равнинных водохранилищ резко сменили направление эволюции в результате подтопления и динамичного водного режима. Объект исследования – острова, расположенные на территории Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан, Россия): от моста Зеленодольск – Нижние Вязовые (55°49'27.1"N; 48°31'05.6"E), до участка в приуроченного г. Казани (55°42'51.2"N 49°01'52.9"E) ниже по течению р. Волга. За полевой период 2018 г. на территории

Казанского района переменного подпора обследованы 45 островов и 2 полуострова пойменного генезиса. В настоящее время разнообразие аллювиальных почв представлено пятью генетическими типами: аллювиальные дерновые кислые, аллювиальные дерновые насыщенные, аллювиальные луговые кислые, аллювиальные луговые насыщенные, аллювиальные лугово-болотные. Для характеристики рельефа островных систем использовались данные цифровой модели рельефа ALOS Global Digital Surface Model. На основе цифровой модели рельефа рассчитаны параметры рельефа, потенциально влияющие на почвенный покров островов.

В условиях островных систем пойменного типа, которые характеризуются малым разбросом высот суши (по данным цифровой модели рельефа, средние высоты островов варьируют от 52.7 м до 57.5 м), основным фактором, определяющим интенсивность гидроморфизма является высота над уровнем воды водохранилища. Анализ распределения почвенных типов по элементам рельефа с учетом гранулометрического состава позволяет выявить характерные закономерности. Аллювиальные лугово-болотные почвы более тяжелого гранулометрического состава могут размещаться выше по рельефу, чем более легкого. Та же тенденция прослеживается для луговых почв. Если рассматривать распределение по высотам почв разных групп с одинаковым гранулометрическим составом, то хорошо заметно, что песчаные аллювиальные дерновые почвы располагаются в среднем на больших абсолютных высотах, чем песчаные аллювиальные луговые, супесчаные луговые занимают более высокие абсолютные отметки, чем супесчаные лугово-болотные.

Использование логистического регрессионного анализа позволило более детально рассмотреть особенности развития почвенного покрова островов в зависимости от вторичных атрибутов рельефа, рассчитанных из цифровой модели высот.

Вероятность развития аллювиальных дерновых почв имеет обратную зависимость от количества распределенной влаги (SAGA TWI) – в более сухих условиях островных систем возрастает вероятность развития свойств почвенной толщи, свойственных аллювиальным дерновым почвам, а не аллювиальным луговым или лугово-болотными почвам. Утяжеление гранулометрического состава также снижает вероятность развития аллювиальной дерновой почвы, что обусловлено более высоким подъемом капиллярной каймы. Параметры рельефа, отобранные при построении модели аллювиальных луговых почв, позволяют заключить, что данные почвы развиваются на более низких и ровных участках рельефа (параметр MRVBF) с малой площадью водосбора (Catchment Area). Также наблюдается положительная зависимость с утяжелением ГМС. Аллювиальные лугово-болотные почвы, согласно результатам регрессионного анализа, способны развиваться на более высоких участках островных систем (параметр Topographic Position Index), но в то же время на аккумулятивных вогнутых участках рельефа (параметр Cross-sectional curvature), что также определяет распределение влаги. Вероятность развития данной группы почв также возрастает с утяжелением гранулометрического состава.

УДК 631.4

ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЧВ НЕДРЕНИРУЕМОГО ТИПА МЕСТНОСТИ ОКСКО-ДОНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ЗА ПОЛУВЕКОВОЙ ПЕРИОД

Смирнова М.А.^{1,2}, Бардашов Д.Р.^{1,2}, Юрова А.Ю.^{1,3}, Филь П.П.¹, Лозбенев Н.И.¹, Плотникова О.О.¹, Юдина А.В.¹, Фомин Д.С.¹

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, summerija@yandex.ru;

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,

³Северо-западный институт экологии и окружающей среды, КАН, Ланьчжоу, Китай

Лесостепные почвы характеризуются сбалансированным атмосферным увлажнением, и малейшие изменения в поступлении и оттоке влаги, вызванные спецификой рельефа, свойств почв, почвообразующих и подстилающих пород, влияют на направленность почвенных

процессов. Наблюдаемые последние десятилетия изменения климата и положения уровня грунтовых вод в пределах лесостепной зоны проявляют себя как в трансформации водного режима почв, так и почвенных свойств. Работа основана на детальном изучении свойств почв, водного режима, положения почвенно-грунтовых вод четырёх сопряженных по рельефу почв, формирующихся в пределах недренируемого типа местности лесостепи Окско-Донской низменности (Токаревский район, Тамбовская область; рисунок). Места заложения почвенных разрезов определены путем оцифровки карты Тамбовского стационара и ее геопространственной привязки, определении координат почвенных разрезов, в которых Е.М. Самойлова проводила исчерпывающие исследования свойств почв и особенностей их водного режима в период 1969-1972 гг. (Луговые почвы лесостепи..., 1981). В нашей работе и работе Е.М. Самойловой были исследованы следующие свойства почв: рН, общее содержание легкорастворимых солей и состав водной вытяжки, емкость катионного обмена и состав обменных катионов, общее содержание органического и неорганического углерода, гранулометрический состав. В работе Е.М. Самойловой данные о влажности почв были получены классическим термостатно-весовым методом два раза в месяц с июня по октябрь в 1969 г. и с мая по ноябрь в 1970 г., 3-5 раз за весь теплый период в 1971-1972 гг. – в эти же сроки определялся уровень залегания почвенно-грунтовых вод путем бурения. В нашей работе был выполнен непрерывный мониторинг объемной влажности почв на основе заложённых автоматизированных систем определения влажности (логгер Pedometron) на глубинах 20, 40 и 60 см, и уровня почвенно-грунтовых вод с 14 октября 2022 г. по н. в.

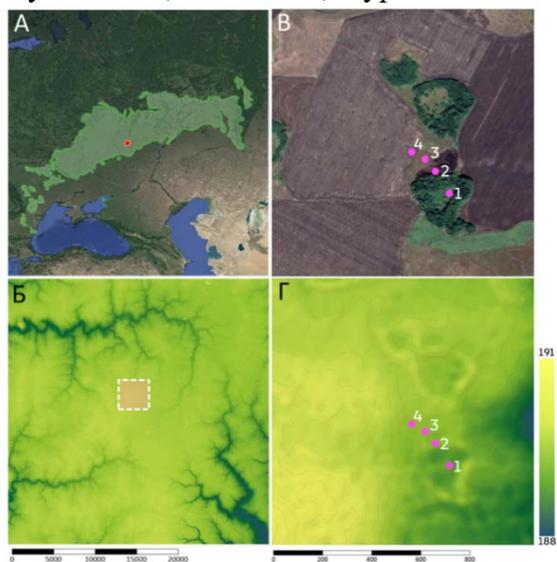


Рисунок. Расположение района исследований в пределах лесостепной зоны на космическом снимке (А), космический снимок ключевого участка (В), цифровая модель рельефа и положение исследованных почв (Б,Г).

Согласно классификации и диагностике почв России (2004), исследованные почвы представлены: перегнойно-гумусовой оподзоленной почвой (р. 1) в днище западины; на водораздельном пространстве по мере удаления от склона западины были диагностированы – чернозем квазиглеевый (р. 2), солонец темногумусовый квазиглеевый (р. 3), агрочернозем квазиглеевый (р. 4). Участок исследования расположен на выровненной субгоризонтальной слаборасчлененной бессточной поверхности; данные условия в сочетании с глинистым гранулометрическим составом почв обуславливают слабую дренированность. Почвообразующие породы представлены лессовидными глинами, подстилаемыми на глубине около 8 м днепровской мореней. Осадки выпадают неравномерно – их среднегодовое количество составляет 484 мм; среднегодовая температура 6.8°C. Западина окаймлена осинником разнотравно-черемичевым, в днище формируется осоково-кочкарное болото. Чернозем квазиглеевый и солонец приурочены к залежи и формируются, соответственно, под разнотравно-костровой и полынно-типчаковой растительной

ассоциациями. В состав севооборота на пашне входит озимая пшеница, ячмень и подсолнечник.

В результате проводимого мониторинга уровня почвенно-грунтовых вод было выявлено, что во влажный период 2022-2023 гг. почвенно-грунтовые воды залегали глубже, чем во влажные 1969-1970 гг. и сухие 1971-1973 гг.; в настоящее время уровень почвенно-грунтовых вод преимущественно залегал на глубине 4-5 м на пашне и был более 5 м на залежи, в то время как их уровень не опускался глубже 2 м во всех почвах в 1969-1970 гг. и 4 м во всех почвах в сухие 1971-1973 гг. В результате водный режим почв водораздельной поверхности больше соответствовал водному режиму черноземов, чем черноземов квазиглеевых (или лугово-черноземных почв, согласно классификации почв СССР 1977 г.) – в почвах отсутствовали признаки дессукативно-выпотного водного режима, подпитка верхних горизонтов капиллярной влагой в летний период. В 2023 г. объемная влажность почв была ниже влажности завядания в верхних 40 см начиная с конца весны-начала лета на пашне и с середины лета на залежном участке; в 1969-1971 гг. влажность почвы ниже влажности завядания не была диагностирована.

Понижение уровня почвенно-грунтовых вод наиболее сильно нашло отражение в морфологических свойствах почвы западины. В сравнении с 1971 г. произошло существенное увеличение мощности гумусового горизонта – с 13 (1971 г.) до 32 см (2022 г.), вероятно, за счет возросшей возможности корней пронизывать почву на большую глубину (ранее препятствовало постоянное переувлажнение почв на глубинах больше 13 см); в результате диагностированный Е.М. Самойловой осолоделый горизонт приобрел темно-серый с белесоватостью оттенок, и солодь луговая трансформировалась в перегнойно-темногумусовую оподзоленную глеевую почву. Набор почвенных горизонтов и таксономическое положение остальных исследованных трех почв осталось прежним, однако были диагностированы изменения в глубинах обнаружения вторичных карбонатов (их опускании на 10-15 см) и новообразований железа (их более близком к поверхности почвы залегании). Согласно полученным данным о содержании и составе легкорастворимых солей выявлено, что их максимум сместился на 20-40 см, а для пахотной почвы произошло изменение преобладающего катиона (Na^+ вместо Ca^{2+}). Во всех почвах кроме почвы западины изменилась также форма солевого профиля – с поверхностно-аккумулятивного на элювиальный. Для всех исследованных почв зафиксировано увеличение содержания обменного натрия в составе почвенного поглощающего комплекса на 2-10 ммоль(+)/100 г почвы и снижение содержания магния на 2-4 ммоль(+)/100 г почвы. Выявлено увеличение содержания органического углерода в почвах на 0,5-2% в нижней части профиля солонца и солоди. Таким образом, наблюдаемые изменения климата и положения уровня грунтовых вод в почвах повлекли за собой изменения в особенностях их водного режима, химических свойств (строения солевого профиля, состава обменных катионов и содержания органического углерода), их морфологического строения - вплоть до изменения набора почвенных горизонтов в почве днища западины и изменения глубины обнаружения вторичных карбонатов, новообразований железа в почвах водораздельной поверхности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-77-10062 «Гидрологическая и секвестрационная функции почв западинного комплекса лесостепи»).

УДК 631.48

ПОЧВЫ ГУМИДНЫХ ВЫСОКОГОРИЙ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

Смоленцева Е.Н.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, esmolenceva@issa-siberia.ru

Горный массив Кузнецкий Алатау (КА) – это вытянутый в субмеридиональном направлении северный отрог Алтае-Саянской горной области. Он представляет собой совокупность

средневысотных горных хребтов, разобщённых сложной системой глубоких речных долин. Особенности географического положения и геоморфологии обусловили асимметрию его климата и ландшафтов. Западный макросклон КА характеризуется гумидными условиями и лесной растительностью, восточный – более сухой и остепнённый. Преобладающие почвообразующие породы – четвертичные бурые делювиальные бескарбонатные глины и суглинки, в высокогорной области литогенной основой почв является также щебнистый элюво-делювий коренных пород (сланцев, известняков, песчаников). На западном макросклоне КА выделяют горно-таёжный, субальпийский и горно-тундровый растительные пояса, из которых два последние относятся к высокогорной области. Почвенный покров этой территории изучен слабо в связи с её труднодоступностью.

В результате проведённых работ установлено, что почвенный покров гумидных высокогорий КА характеризуется определённым разнообразием. В его составе представлены все 4 створа почвообразования: постлитогенный, синлитогенный, первичный и органогенный.

Постлитогенные почвы высокогорий – это бурозёмы, бурозёмы грубогумусовые, литозёмы, глеезёмы и криометаморфические. Преобладающими почвами горно-тундрового и субальпийского поясов являются литозёмы, которые встречаются также и в горно-таёжном поясе. Однако в каждом из поясов имеются наиболее типичные почвенные разности. Так, в горно-тундровом поясе в наиболее холодных и влажных условиях формируются преимущественно литозёмы с торфяным и грубогумусовым горизонтами. В субальпийском поясе литозёмы серогумусовые встречаются под высокотравными субальпийскими лугами. Здесь они часто образуют почвенные комбинации с бурозёмами. В горно-тундровом поясе преобладают различные типы литозёмов. Под кустраничковой и мохово-лишайниковой тундрами формируются литозёмы грубогумусовые метаморфизованные, реже бурозёмы грубогумусовые маломощные, под травянистыми сообществами – литозёмы серогумусовые метаморфизованные. В составе почвенного покрова всех природных поясов КА постоянными компонентами являются почвы отдела глеевые и органогенные почвы. Они приурочены к местам с высоким поверхностным и грунтовым увлажнением, в результате чего происходит редуцирующий гидроморфизм минеральных почвенных горизонтов, а также образование и аккумуляция различных видов торфа. Глеевые почвы занимают, как правило, плоские заболоченные седловины, ложбины стока или долины мелких рек и ручьев. Были выявлены три типа почв, относящихся к отделу глеевых: глеезёмы, торфяно-глеезёмы и перегнойно-глеевые почвы. Развиваются они в условиях длительного застойного увлажнения под сырыми или заболоченными лугами, а также под заболоченными тундровыми сообществами. Глеезёмы не образуют крупных ареалов, а входят в состав почвенных комбинаций с другими переувлажненными почвами. Торфяно-глеезёмы типичные распространены в долинах рек и ручьев, в заболоченных межгорных седловинах по окраинам болотных массивов. Перегнойно-глеевые – наиболее часто встречающийся на территории высокогорий тип почв из отдела глеевых. Развиваются эти почвы под заболоченными и гигрофильными лугами в ложбинах стока на склонах хребтов, а также в долинах рек. По мощности мелкозёмистой толщи большинство бурозёмов и бурозёмов грубогумусовых в высокогорьях имеют слабо развитый профиль (40–50 см), который внизу ограничен твердой подстилающей породой, и среднемощный серогумусовый горизонт (10–20 см). Практически во всех исследованных почвенных профилях встречаются обломки коренной породы в виде скелета и дресвы. Средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом характеризуются почвы, формирующиеся на выровненных участках или на склонах небольшой крутизны (не более 10°). Это бурозёмы и литозёмы серогумусовые пологих склонов. Почвы, формирующиеся на крутых склонах или в узких седловинах между крутыми склонами, а также пойменные почвы имеют легкосуглинистый и супесчаный гранулометрический состав. Это бурозёмы грубогумусовые и литозёмы грубогумусовые, перегнойно-глеевые и глеезёмы седловин. Почвы, формирующиеся на делювии известняков, имеют слабокислую и нейтральную реакцию среды и их профили имеют среднюю и

повышенную степень насыщенности основаниями. Это бурозёмы типичные тёмнопрофильные, петрозёмы и некоторые аллювиальные почвы. Остальные почвы, их преобладающее большинство, характеризуются сильнокислой и очень сильнокислой реакцией среды, за счет высокой обменной и гидролитической кислотности и низкой и очень низкой суммы поглощенных оснований. В высокогорной области КА поверхностные горизонты формируются в зависимости от высоты местности и от особенностей фитоценоза (серогумусовый и грубогумусовый) и от условий увлажнения (перегонный, отофованный или торфяной). Все почвы богаты органическим углеродом (Сорг). По содержанию гумуса они относятся к сильно гумусированным и тучным: содержание Сорг в серогумусовом горизонте варьируется от 4,4 до 9,8 %, в грубогумусовом – от 9,7 до 17,7 %.

В высокогорной области повсеместно встречаются петрозёмы и петрозёмы гумусовые, которые относятся к стволу первичного почвообразования. Генезис этих почв ограничен плотной породой. Они представляют собой маломощные горизонты О или W, залегающие на крупнообломочной коре выветривания. Петрозёмы не имеют крупных ареалов, а образуют почвенные комбинации с литозёмами. Мощность гумусово-слаборазвитого горизонта у петрозёмов составляет 5 см. Гранулометрический состав их легкосуглинистый или супесчаный с преобладанием фракций крупной пыли и песка. Химические свойства петрозёмов сильно зависят от почвообразующих и подстилающих пород. Так на содержащих карбонаты углеродистых известняках развиваются петрозёмы с высокой степенью насыщенности основаниями, более 90%. Они имеют слабощелочную реакцию среды и очень высокую сумму $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ в поглощающем комплексе. Петрозёмы, формирующиеся на алевритовых сланцах и песчаниках имеют сильнокислую реакцию среды, высокую гидролитическую кислотность и низкую степень насыщенности основаниями. Во всех проанализированных гумусово-слаборазвитых горизонтах петрозёмов наблюдается высокое содержание органического вещества (5,8–13,9 % Сорг).

Ствол органогенного почвообразования в высокогорьях КА представлен двумя типами почв: торфяные эутрофные и торфяные эутрофные глеевые. Торфяные эутрофные почвы встречаются повсеместно на территории КА как в горно-таёжном, так и в гольцовом и подгольцовом поясах под осоковыми и лесными болотами. В гольцовом и подгольцовом поясах они обнаружены в долинах мелких рек и ручьёв. Эти почвы не образуют крупных ареалов, поэтому на карте встречаются в составе почвенных комбинаций с торфяно-глеезёмами и торфяно-литозёмами.

Типичным случаем синлитогенного почвообразования на территории ГПЗ «Кузнецкий Алатау» является аллювиальный седиментогенез, проявляющийся в поймах рек. Поэтому здесь был выделен отдел аллювиальных почв, которые встречаются во всех поясах и прурочены к долинам основных рек КА. Типы аллювиальных почв выделяются по характеру гумусового или органогенного горизонтов и по их сочетанию с глеевым горизонтом. На обследуемой территории данный отдел представлен тремя типами – это аллювиальные гумусовые, аллювиальные перегонно-глеевые и аллювиальные торфяно-глеевые почвы. Следует также отметить, что почвенный покров высокогорной области отличается от горно-лесного пояса своей прерывистостью. Повсеместно на поверхность выходят плотные магматические и метаморфические породы геологического фундамента КА. Обломочная кора выветривания плотных пород образует на склонах курумы, которые не являются почвенными образованиями. Соответственно, почвенный покров здесь не образует континуума. Распределение почв зависит в первую очередь от мощности мелкозёмистой толщи, а также от растительности, под которой они формируются.

УДК 631.4

УЧЕНИЕ О СТРУКТУРЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Сухачева Е.Ю.

Изучению структуры почвенного покрова (СПП) в современный период уделяется крайне мало внимания, несмотря на острую необходимость подобных исследований в условиях значительной трансформации почвенного покрова (ПП) под влиянием антропогенного фактора. Хозяйственная деятельность человека приводит к различным изменениям в ПП: от незначительных отклонений в характеристиках почв до полного уничтожения отдельных компонентов ПП и создания принципиально новых форм организации почвенного пространства. Деятельность человека прямо или косвенно затрагивает не только почвы, но и сложившиеся в течение сотен и тысяч лет межкомпонентные генетические связи, что является причиной нарушения геохимических потоков, обеспечивающих целостность и устойчивость функционирования биогеосистем. Большое число техногенных видов воздействия обуславливает многовариантность форм трансформации пространственной организации ПП, которые до сих пор остаются практически не изученными. В этих условиях развитие учения о СПП, применительно к антропогенно-преобразованным территориям, может стать эффективным инструментом современного почвоведения, что позволит дать оценку структурно-функциональной роли почвенного покрова, необходимую для достоверного прогнозирования и оптимизации рационального природопользования. Одним из условий эффективности новых разработок в области развития учения о СПП является использование космоснимков с высоким разрешением и современных ГИС-технологий, позволяющих быстро и эффективно решать задачи отражения, анализа и моделирования СПП.

Для изучения СПП антропогенно-преобразованных территорий наравне с традиционными методами, опирающимися на знание закономерностей строения естественного ПП и их связи с факторами почвообразования, необходимо использовать материалы из смежных областей знаний: археологические данные, исторические карты и документы, материалы статистических и экономических исследований, а также знания современных технологий строительства в различных сферах деятельности человека. Современные картографические методы позволяют выявить разнообразие, определить дешифровочные признаки и дать характеристику новых, не имеющих естественных аналогов СПП, определить их динамику и сделать прогнозы их дальнейших изменений. Это необходимо для принятия нормативных актов по использованию и охране почв, при решении экологических проблем и проблем оптимизации землепользования.

Апробация получения новых знаний о СПП была проведена в антропогенно-преобразованных ландшафтах Ленинградской области, являющейся крупным агропромышленным регионом. На территории Ленинградской области были выделены два блока антропогенно-измененных и антропогенных СПП. Под антропогенно-измененными СПП понимаются почвенные комбинации с частично нарушенными межкомпонентными связями. Для антропогенных СПП характерна дискретность ПП и обязательное наличие в составе непочвенных образований, антропогенных или в значительной степени трансформированных почв.

Были определены дешифровочные признаки и дана характеристика 16 групп СПП, формирующихся при различных видах хозяйственной деятельности – лесозаготовительных, мелиоративно-лесных, противопожарно-лесных, рекреационно-лесных, поствоенных, агролесных, лесных питомников, агрогенных, агромелиоративных, постагрогенных, рекреационно-парковых, магистральных, урбанизированных, агроурбанизированных, автомагистралей и железных дорог, горнорудных карьеров.

Разработана типология СПП антропогенно-преобразованных территорий. В основу типологии положены закономерности в изменении ПП под влиянием антропогенного фактора; учитывались вид и степень преобразования компонентного состава ПП,

контрастность и неоднородность ПП, межкомпонентные связи, форма и рисунок внутренней организации СПП. Введены понятия почвенного урбанизированного пространства, почвенного техногенного пространства, педоурбокомбинаций и технопедокомбинций. Типология антропогенно-измененных и антропогенных СПП построена на тех же принципах, что и типология естественных СПП и ее возможно вписать в общую теоретическую схему, предложенную В.М. Фридландом.

Предложенная типология антропогенно-измененных и антропогенных СПП была апробирована при создании почвенной карты Санкт-Петербурга (М 1:50 000) и почвенной карты Ленинградской области (М 1:200 000).

Было выявлено, что антропогенно-преобразованные и антропогенные СПП неравномерно распределены в пространстве. Однако, существуют определенные закономерности формирования СПП в зависимости от истории освоения территории и технологий в области строительства зданий и сооружений, автомобильных трасс, газо- и нефтепроводов, мелиоративных систем и их реконструкции, и других видов хозяйственной деятельности. Один и тот же вид воздействия может оказать разнонаправленное влияние на ПП в различных типах ландшафтов, в схожих ландшафтах однотипные воздействия приводят к однотипным изменениям в ПП.

В Ленинградской области по масштабам и одновременно степени преобразования первое место занимают СПП, сформированные на осушенных сельскохозяйственных землях. На месте одной целостной СПП появляются отдельные генетически несвязанные между собой участки ПП, геометрия которых определяется очертаниями открытых каналов осушительной сети. Дальнейшее развитие СПП зависит от характера нарушений ПП при строительстве и реконструкции, эффективности дренажа и интенсивности использования территории в сельском хозяйстве.

На урбанизированных территориях большинство связей между компонентами естественного ПП разрушены. В результате образуются совершенно новые формы организации почвенного пространства с почвенными разностями и геометрией, не имеющими аналогов в естественных ландшафтах – педоурбокомбинации.

Таким образом, новые знания о СПП антропогенно-преобразованных территорий необходимы, прежде всего, для корректного выявления и отображения антропогенно-измененного ПП и определения трендов ПП под влиянием антропогенного фактора. Знания о новых СПП могут быть использованы как для практических целей, так и для дальнейшего развития теоретического направления в учении о СПП, разработанного В.М. Фридландом, Я.М. Годельманом, Ф.И. Козловским и другими исследователями.

УДК 631.46

ЛАНДШАФТНО-МОРФОСТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ГОРНЫХ ПОЧВ

Трифонова Т.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: tatrifon@mail.ru

Объект исследования — территория Армянского нагорья.

Изучались особенности вертикальной ландшафтной природной зональности и формирование структуры почвенного покрова в пределах горных литоводосборных бассейнов.

Использовались данные дистанционного зондирования, картографические материалы и статистические климатические данные.

При изучении климатических особенностей горных территорий установлено, что изменение среднегодовой температуры воздуха с изменением высоты н.у.м. происходит согласно линейной модели. Наибольшая разница между температурой почвы и воздуха наблюдается летом (6,70С), наименьшая — зимой (0,70С).

Проведенный кластерный анализ с использованием климатических данных за 20-летний период, включавший такие параметры как: осадки, температура воздуха, температура почвы, индекс Будыко показал, что по климатическим данным исследуемая территория достоверно может быть разделена на три морфоструктуры: вулканическую котловину, складчато-глыбовые горы и приозерный водосборный бассейн. В отдельную морфоструктуру выделяется межгорная котловина, представленная Араратской долиной.

Следующим этапом исследования являлось выявление приуроченности горных почв к различным высотным морфоструктурам и ландшафтам.

На вулканических массивах представлен ряд почв, составляющих ландшафты от пустынных сухих и жарких до степных умеренно-засушливых. Складчатые горы представлены предгорными и горными лесными засушливыми, горнолесными, степными умеренно влажными и умеренно засушливыми, а также горнолесными ландшафтами. Лугово-степные, субальпийские и высокогорные ландшафты находятся в единой зоне высотной атмосферной циркуляции, поэтому аналогичны как для складчатых гор, так и для вулканических массивов.

На основе анализа данных дистанционного зондирования и полевых исследований были определены особенности формирования ландшафтов и почвенного покрова внутри каждой выделенной морфоструктуры.

1. Вулканические массивы. Исследование проводилось на примере вулканического массива Арагац по главному морфологическому профилю южной экспозиции с перепадом высот от 900 м.н.у.м. до 4000 м.н.у.м. Также анализировался профиль северной экспозиции. Показано, что ландшафты и приуроченные к ним почвы закономерно изменяются с высотой.

Таким образом, горные природно-климатические вертикальные пояса (ландшафты) в пределах вулканических морфоструктур являются горизонтально ориентированными, относительно устойчивыми геосистемами, в которых сформированы устойчивые взаимосвязи между экологическими факторами.

Развитие почвенного покрова внутри каждого ландшафта определяется его биогеоклиматогенной структурой.

Ведущие факторы: рельеф, экспозиция.

2. Складчатые и складчато-глыбовые морфоструктуры. Основная особенность — наличие на склонах водосборных бассейнов.

Горные водосборные бассейны- вертикально организованные геосистемы

Наша концепция: образование речного бассейна обусловлено развитием взаимосвязанных процессов разрушения горного массива и роста русловой системы трещин вверх по склону. Структура почвенного покрова внутри бассейна определяется его морфологическим строением.

Литоводосборные бассейны – вертикально организованные геосистемы с преобладанием нисходящих вещественных потоков.

Доминирование экзогенных процессов позволяет определить эту систему как нестабильную, динамичную, где наиболее интенсивно проявляется роль рельефа как почвообразовательного фактора. Внутри бассейнов из-за рельефа создается микроклимат и активное перемешивание воздушных масс не способствует стратификации температуры и влажности по высоте и формированию

последовательных вертикальных ландшафтных поясов. Следствие: интерференция ландшафтных и почвенных зон.

Взаимоналожение двух геосистем (биосферных процессов) – высотной поясности и горного водосборного бассейна приводит к следующему феномену: в пределах бассейна одновременно присутствуют элементы обеих систем. На водоразделах, не затронутых активным ростом руслового процесса, продолжают развиваться почвы альпийского, субальпийского и других высотных поясов.

3. Межгорные котловины и озерные бассейны. Рассмотрены на примере котловины озера Севан. Природно-климатические условия замкнутых горных озерных котловин отличаются своеобразием, здесь наблюдается интерференция почвенных зон.

УДК 641.48

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ НА БУЛГУННЯХАХ В НИЖНЕКОЛЫМСКОЙ ТУНДРЕ (СЕВЕРНАЯ ЯКУТИЯ)

Чевычелов А.П.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail: chev.soil@list.ru

В основу представленного доклада положены материалы, собранные в августе 2012 г. при проведении полевых почвенно-географических исследований в окрестностях пос. Походск Нижнеколымского района Республики Саха (Якутия). В географическом отношении исследуемая территория приурочена к Колымской низменности. Орографический облик данной территории определяется отчетливо выраженным преобладанием низменностей над горными участками. Абсолютные отметки местности колеблются на уровне 2,5-7,6 м над уровнем моря. На этом фоне выделяются высоты отдельных булгунняхов, составляющие 7,3-19,7 м. Исследуемая территория сложена главным образом осадочными породами четвертичного возраста, представленными двумя отделами (Q₃ и Q₄) четвертичной системы, то есть верхним и современным соответственно. При этом по площади абсолютно преобладают озерно-болотные отложения современного отдела. Аллювиальные отложения приурочены к речным долинам, вдоль которых они образуют более или менее широкие полосы, соответствующие распространению низкой и высокой поймы. Климат исследуемого района субарктический, переходный к арктическому, с продолжительной холодной зимой и коротким, но довольно теплым летом. Среднегодовые температуры воздуха колеблются в пределах –(11-15°С), а среднемесячные в январе достигают –36°С и в июле +6–8°С. Зимой господствуют штилевые погоды, летом – северные ветры. Общее количество осадков в целом составляет 150-200 мм в год, причем в виде снега выпадает четвертая их часть. Исследуемая территория характеризуется сплошным распространением многолетней мерзлоты (ММ). ММ оказывает большое влияние на формирование гидротермического режима почв, на создание почвенного климата и почвообразование в целом, а также на развитие мезо-, микро- и нанорельефа. Из криогенных форм мезорельефа для данной территории необходимо особо отметить большое распространение гидролакколитов (булгунняхов или пинго). Это подтверждает известное положение, согласно которому 82 % всех булгунняхов Северной Азии формируются в зоне тундры. Данная территория также относится к тундровой зоне, подзоне южных субарктических тундр. В полосе южных субарктических тундр наибольшее распространение имеют редко- и низкокустарниковые (*Betula exilis*, *Salix pulchra*) варианты влагилищнопушицевых и бугорковых тундр. Согласно карте почвенно-географического районирования Северной Якутии, исследуемая территория входит в состав Индигиро-Колымской провинции мерзлотных болотных (50 %), мерзлотных тундровых перегнойно-глеевых, мерзлотных тундровых перегнойно-торфянисто-глеевых (40 %) и мерзлотных тундровых глееватых почв (10 %). Приведём краткие географические и морфологические характеристики основных типов тундровых мерзлотных почв исследуемого района. Разрез 1К-12 заложен на надпойменной террасе р. виска Походская, на вершине валика. Координаты места заложения разреза: N 69°,09601, E 160°,94116. Полигонально-валиковая тундра. Строение профиля: O(0-4)–A0A1(4-11)–BCfe,g(11-40)–G (40-55 см). ММ на глубине 55 см. Почва: тундровая перегнойно-глеевая. Разрез 3К-12 заложен в 10 м от разреза 2К-12 на юго-восток, координаты заложения разреза: N 69°,09564, E 160°,94010. Краина подсыхающего озерка (мочажины). Напочвенный покров кустарничково-моховой. Строение профиля: O(0-5)–T1(5-19)–T2(19-27 см). ММ – на глубине 27 см. Почва: болотная торфянисто-глеевая. Разрез 4К-12 заложен на надпойменной террасе

р. виска Походская. Координаты заложения разреза: N 69°,09366, E 160°,89722. Вершина булгуньяха высотой 8,3 м. Куртина разнотравно-злакового луга, проективное покрытие ~ 80 %, на поверхности почвы присутствуют отдельные голые пятна, лишённые растительности. Строение профиля: Av(0-3)–A(3-13)–Vfe,g(13-32)–BCg(32-56 см). ММ – на глубине 56 см. Почва: дерново-подбур. Разрез 6К-12 заложен на вершине самого высокого булгуньяха высотой 19,7 м, фрагмент остепненного луга, поверхность мелкобугорковатая, хорошо различимы криогенные трещины шириной 10-15 см. Координаты местозаложения разреза: N 69°,08832, E 160°,61427. Строение профиля: Av(0-2)–A(2-14)–AB(14-28)–Vfe(28-68)–BCg(68-105 см). ММ обнаружена на глубине 105 см. Почва: дерново-подбур. Разрез 11К-12 заложен в средней части поймы р. виска Походская, нормальный разнотравно-злаковый луг. Координаты заложения разреза: N 69°,07813, E 160°,94949. Строение профиля: Av(0-3)–AB(3-15)–BCg(15-78 см). ММ – на глубине 78 см. Почва: аллювиальная темногумусовая глееватая. Анализ морфологических и физико-химических свойств почв (разр. 4К-12 и разр. 6К-12), заложенных на вершинах булгуньяхов разной высоты и вероятно разного возраста, которые описаны нами в данном районе впервые, позволяет отнести их к дерново-подбурам. Свойства данных почв существенно отличаются от таковых зональных мерзлотных тундровых почв. Особенно это характерно для свойств дерново-подбура (разр. 6К-12), сформированного на вершине самого высокого в данном районе булгуньяха высотой 19,7 м. Данная почва характеризуется максимальной глубиной сезонного протаивания (105 см), низкой актуальной и обменной кислотностью, относительно высоким содержанием гумуса в минеральных почвенных горизонтах А, Vfe, BCg (соответственно 14,2, 7,3, 3,1 %), насыщенностью почвенного поглощающего комплекса обменными основаниями и низким содержанием обменного H⁺. Исследуемая почва формируется на легких рыхло-песчаных аллювиально-озерных отложениях в условиях относительно сухой, так называемой Халарчинской тундры. Изучаемая почва, вероятно характеризуется наиболее благоприятными гидротермическими условиями почвообразования, которые отмечаются в исследуемом районе южной субарктической тундры. Таким образом, в ландшафтно-климатических условиях Нижнеколымской тундры нами был описан новый тип почв, то есть дерново-подбуров (рис. Б), формирующихся на вершинах булгуньяхов, ранее не включенный в систематический список тундровых почв Якутии. По своим морфологическим и физико-химическим свойствам данные почвы приближаются к тундровым подбурам (рис. А), от которых отличаются меньшей гидроморфностью.

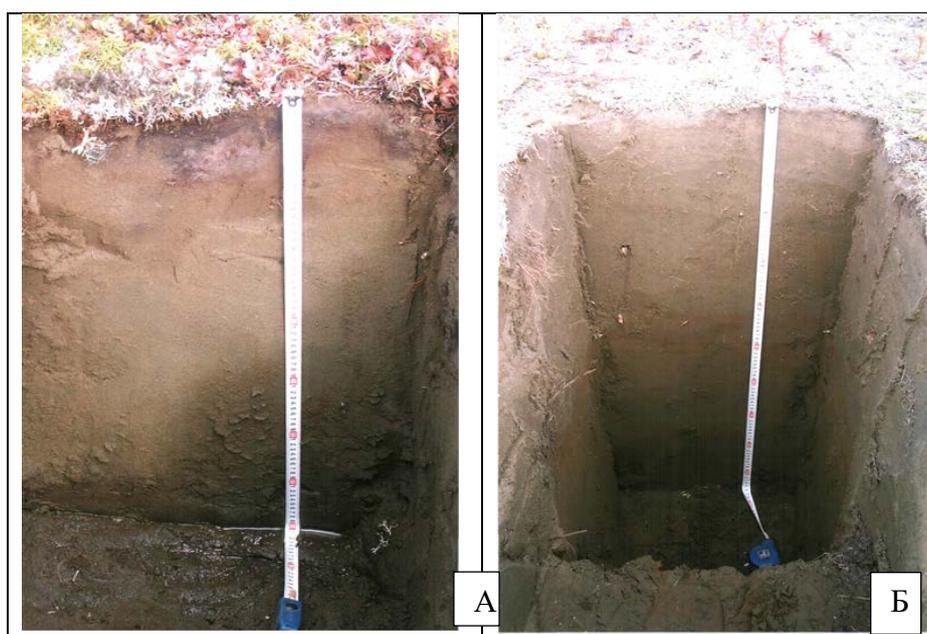


Рис. Морфологическое строение мерзлотных тундровых почв Колымской низменности Северной Якутии: А – подбур (разр. 7К-12), Б – дерново-подбур (разр. 6К-12).

УДК 631.48

ГЕНЕЗИС И ХИМИЗМ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ.

Черноусенко Г.И.

ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, chergi@mail.ru

Дискуссии об основных причинах засоления почв юга Восточной Сибири остались в прошлом. Однако к единому знаменателю исследователи так и не пришли. Засоление – процесс, широко распространенный в субаридных и аридных территориях, здесь, в котловинах юга Восточной Сибири, не имеет столь широкого распространения. Причины этого, а также источники и механизмы засоления почв региона рассмотрены в этом сообщении.

Засоление оценивалось как на уровне отдельных больших регионов - Минусинская котловина, котловины Тувы и Бурятии, так и на уровне отдельных, относительно небольших межгорных котловин. Влияние источников и механизмов засоления было оценено экспертно полуколичественным методом по 4-х балльной шкале: отсутствие фактора, слабая, средняя и сильная степень влияния. Площади засоленных почв того или иного типа химизма засоления, глубина и степень засоления почв оценивались статистически по базе данных или картографически по созданным картам засоления почв.

Химизм, степень и глубина засоления почв тесно связаны с источниками и механизмами засоления. Проявление засоления в почвах напрямую связано с преобладающими факторами засоления в данном районе или котловине.

Основные источники и механизмы засоления приведены в таблице.

Регион	Хакасия и юг Красноя рского края	Тува			Бурятия			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Котловины Источники								
Засоленные породы	+++	++	+	+-	-	-	-	-
Магматические породы с Na и Mg	+	-	+	-	+	+	+	++
Осадочные сульфидсодержащие породы	++	-	-	++	-	-	+	++
Минерализованные подземные и грунтовые воды	+++	+	+	+++	+++	+	+	++
Механизмы:								
Аэральный	+	++	-	+	++	+	-	+
Климатический	++	+++	+	++	++	+	+	++
Гидрологический и гидрогеологический	+++	+++	+	+++	+++	+	++	++
"Физические"								
Мерзлота как водоупор	-	-	+	-	+	++	+++	+-
Гранулометрический состав	+++	+	++	++	+	+	+++	++
Рельеф	++	+	+	+	++	+	+	++
Антропогенные								

Орошение	++	+	-	+-	+	-	-	+
----------	----	---	---	----	---	---	---	---

Котловины: 1 - Минусинская, 2 – Убсунурская, 3 – высокогорные юга Тувы, 4 - Улугхемская, 5 – Баргузинская, 6 – Тункинская, 7 – Еравнинская, 8 – Селенгинского среднегорья.

Применение орошения, без которого практически невозможно получение хороших урожаев в засушливой зоне, также часто приводит к развитию засоления, а в ряде случаев изменяет тип химизма засоления почв - в почвах преимущественно сульфатного типа химизма появляется содовость, которая, в ряде случаев, начинает преобладать.

Климат не всегда является определяющим фактором в развитии засоления почв. Так, в Минусинской котловине, несмотря на менее аридный климат, по сравнению с более южной территорией Тувы, засоленные почвы имеют более широкое распространение. Причина этого кроется в более широком распространении засоленных пород девона, в разгрузке минерализованных подземных вод, сотнях засоленных озер, вокруг которых формируются засоленные почвы, а также в преимущественно тяжелом гранулометрическом составе, способствующем удержанию солей в профиле. Тем не менее, отрицать влияние климата на засоление почв в корне не верно. Преобладание испарения приводит к доминированию поверхностно засоленных солончаковых почв во всех котловинах.

Засоленные породы имеют меньшее влияние даже в почвах южной полупустынной Убсунурской котловины, несмотря на находящееся здесь единственное на этой территории месторождение каменной соли. Причина этого - щелнистый легкий гранулометрический состав почв, который нивелирует и уменьшает засоление. Подвижные более токсичные хлориды, вымываясь, концентрируются в озерах, а в почве остаются менее подвижные и менее токсичные сульфаты. Таким образом, в Убсунурской котловине доминирует сульфатное засоление при значительной доле хлоридов.

Лидирующие позиции в плане проявления засоления в мерзлотных котловинах принадлежат льдистой мерзлоте, приводящей к возрастанию или доминированию хлоридов в мерзлотных (Тункинская, Еравнинская, горные Тувинские) котловинах. Утяжеление гранулометрического состава почв приводит к большему засолению более северных котловин Бурятии даже по сравнению с более южными котловинами республики.

Химизм засоления почв - чем он определяется в котловинах юга Восточной Сибири, какой тип химизма преобладает и как оценивать степень доминирующего химизма засоления?

Для Восточно-Европейской равнины в 1946 году Виктор Абрамович Ковда предложил концепцию связи химизма засоления с зональностью - преобладанием в лесостепи содового засоления, в степи - сульфатного, в сухостепной каштановой зоне сульфатно-хлоридного засоления и в полупустынной зоне - хлоридного. Согласно нашим данным, картина отличается от зонально-широтной. Если оценивать химизм засоления почв статистически по базе данных, то в большинстве котловин юга Восточной Сибири, которые располагаются в разных природных зонах, доминирует сульфатный химизм засоления – как в лесостепной зоне на севере Минусинской котловины, так и в полупустынной в Убсунурской. Картина меняется в степных и лесостепных котловинах, в которых распространена мерзлота, удерживающая хлориды – здесь возможно их доминирование, а в более южной и аридной Боргойской котловине - содовое засоление. Наблюдается инверсия засоления относительно концепции предложенной В.А. Ковдой. Таким образом, мы не можем подтвердить однозначную связь химизма засоления почв ни с широтой, ни с ландшафтом. Почвы каждой котловины имеет свой химический профиль засоления, превалирует ландшафтно-котловинный тип засоления, определяемый конкретными источниками и механизмами засоления в конкретной котловине.

Оценка засоления. Как правильнее оценивать засоление статистически по аналитической базе данных или картографически? Аналитические базы данных и составление карт, дешифрированием ДДЗ не являются взаимозаменяемыми. Главный недостаток аналитических данных - большая неравномерность их распределения по исследуемой территории, что может сильно исказить результаты, тогда как при дешифрировании

невозможно определить химизм засоления, а также его наличие на глубине. Более корректно использовать карту засоления почв, для верификации которой была использована и аналитическая база данных. Это позволит рассчитать все три параметра, влияющих на сельскохозяйственное использование земель: площадь, степень и химизм засоления.

УДК 631.445.2

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЭКОТОНЕ СРЕДНЕЙ И ЮЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТАЙГИ

Шахтарова О.В., Холопов Ю. В., Денева С. В., Лаптева Е. М., Рудь А.А.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail: olga.shakhtarova@mail.ru

Почвы экотонных всегда представляли большой интерес для исследователей из-за особой специфики педогенеза. Экотонные представляют собой переходные области или полосы между двумя смежными климатическими зонами/подзонами, и соответственно имеют определенную протяженность в пространстве, где и происходит постепенная смена зональных типов растительных сообществ и почв. Почвенно-географические исследования, проведенные ранее на территории Республики Коми, показали, что зональные закономерности четко прослеживаются в первую очередь для почв, занимающих автоморфные позиции ландшафта. Так, например, для подзоны северной тайги характерно распространение глееподзолистых, средней тайги – типичных подзолистых, южной тайги – дерново-подзолистых почв.

Цель данного исследования – выявление особенностей формирования почв в экотоне «средняя тайга – южная тайга» на территории Европейского Северо-Востока.

Объектами исследования послужили почвы национального парка «Койгородский» (далее НП «Койгородский»), территория которого находится на юге Республики Коми, в экотонной полосе между границами подзон средней и южной тайги. Ключевые участки расположены в автоморфных позициях водоразделов под пологом еловых лесов, в хорошо дренированных условиях, на суглинистых почвообразующих породах.

Почвы и почвенный покров территории НП «Койгородский» исследовали общепринятым в почвоведении маршрутным методом. Индексацию генетических горизонтов и названия почв провели в соответствии с принципами современной классификации почв России (2004/2008 гг.). Аналитические исследования почв выполняли согласно общепринятым в почвоведении методам.

Установлено, что на территории водораздельных ландшафтов в пределах ключевых участков, как в северной части, так и в южной части НП «Койгородский» преимущественно распространены подзолистые грубогумусовые и палево-подзолистые грубогумусовые почвы. Эти почвы, формирующиеся на территории НП «Койгородский», имеют свои морфогенетические особенности, связанные с влиянием южно-бореального характера видового состава растений с высокой долей трав в напочвенном покрове. В отличие от типичных подзолистых почв средней тайги, маломощный органогенный горизонт (O) которых представлен плохо разложенными остатками мхов, в подзолистых грубогумусовых и палево-подзолистых грубогумусовых почвах на поверхности формируется рыхлая, комковатая, хорошо разложившаяся лесная подстилка (O_{ao}) из остатков трав, листовых пластинок кустарников, хвои ели. Характерной особенностью минеральной части подзолистых грубогумусовых почв является снижение интенсивности элювиально-иллювиальной дифференциации профиля по полуторным оксидам, а также кислотности почв. Элювиальная часть (E_{lf}-B_{EL}) палево-подзолистых почв имеет характерный палевый цвет, близкий к светлобурому. Однако, несмотря на значительное участие травянистой растительности в напочвенном покрове рассмотренных хвойных и лиственных лесов, в профиле подзолистых грубогумусовых и палево-подзолистых грубогумусовых почв нет

мощного и четко выраженного дернового и гумусового горизонтов (АУ), присутствие которых характерно для дерново-подзолистых почв южной тайги. Типичные дерново-подзолистые почвы на территории НП «Койгородский» встречаются, но они, как и типичные подзолистые почвы, занимают незначительные по площади ареалы.

Таким образом, в экотоне средней и южной подзоны Европейской тайги, расположенной на территории НП «Койгородский», в автоморфной позиции водораздельных ландшафтов на суглинистых почвообразующих породах формируются почвы, относящиеся к отделу текстурно-дифференцированных почв и двум типам – подзолистые и дерново-подзолистые. Специфической особенностью этого экотона является преимущественное распространение подзолистых грубогумусовых почв, которые можно рассматривать в качестве переходного варианта от подзолистых почв, характерных для подзоны средней тайги, к дерново-подзолистым – зональным почвам южной тайги.

(Н) ПОДКОМИССИЯ ПО АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКЕ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.452

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ЮГА ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Аксенова Ю.В.

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск,

yuv.aksenova@omgau.org

Наиболее освоены в сельскохозяйственном отношении и вовлечены в пашню почвы лесостепной и степной зоны Омской области. В почвенном покрове преобладают черноземы обыкновенные и южные, лугово-черноземные и луговые почвы, часто залегающие в комплексе с солонцами. Анализ состояния пахотных угодий показал, что на значительных площадях произошло снижение гумуса и элементов минерального питания. Интенсивное использование земель в условиях резкого сокращения внесения минеральных и органических удобрений, уменьшения проведения агрохимических и мелиоративных мероприятий, значительно снизило уровень плодородия пахотных почв.

Цель исследований – провести оценку качества пахотных почв семиаридных территорий Омской области.

Объекты исследования – черноземы обыкновенные и южные, лугово-черноземные и луговые пахотные почвы южной лесостепи (Азовский, Кормиловский, Любинский районы) и степи (Одесский, Щербакульский, павлоградский районы) Омской области. На ключевых участках пашни землепользований были заложены поперечные разрезы для диагностики и описания морфологических признаков почв. Отбор почвенных проб проведен из слоя 0-20 в трехкратной пространственной повторности. Показатели плодородия почв определяли по следующим методикам: содержание гумуса – методом И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова; подвижные формы фосфора и калия – методом Чирикова, в карбонатных почвах методом Мачигина; нитратный азот – дисульфифеноловым методом; индекс окультуренности почв и комплексный агрохимический показатель рассчитаны по методу Кулаковской Т.Н.

Почвообразование в южной лесостепной и степной зоне протекает в условиях дефицита влаги, небольших объемов поступления растительных остатков и ускоренных процессов их трансформации. Недостаточная влагообеспеченность подавляет деятельность почвенной биоты, что приводит к замедлению гумификации и трансформации элементов минерального питания. Такие климатические условия способствуют формированию почв с малой мощностью гумусового слоя, накоплению в их профиле легкорастворимых солей и карбонатов.

Расчет почвенно-экологического индекса для почв черноземного ряда Омской области показал, что наиболее ценными являются черноземы обыкновенные и лугово-черноземные обыкновенные и карбонатные лесостепной зоны. Производительная способность этих почв была оценена в 35-36 баллов. По сравнению с почвами южной лесостепи черноземы обыкновенные обыкновенные и карбонатные оценивались в 36 баллов, черноземы южные – в 31 балл, лугово-черноземные почвы – в 29 баллов. Наличие солонцеватости и легкорастворимых солей снижали их ценность от 8 до 14 баллов.

Содержание гумуса в среднесуглинистых почвах черноземного ряда лесостепи в среднем составляло 4,8%, тяжелосуглинистые и глинистые – 6,2-7,2%. В пахотных почвах степи его величина в среднем была ниже на 1-2%, чем в почвах лесостепи. Так в черноземах и черноземно-луговых тяжелосуглинистых количество гумуса изменялось от 4,8% до 6,4%, в среднесуглинистых - от 5,0 до 5,4%.

На большей части площади пашни обследуемой территории почвы характеризовались очень низким и низким содержанием нитратного азота (табл. 1). В почвах, в которые вносили

азотные удобрения, его величина находилась на среднем уровне. Количество подвижного фосфора в почвах варьировало в широком диапазоне – от среднего до очень высокого уровня. На обследованной площади пашни преобладали почвы со средним и повышенным его содержанием. Высокое и очень высокое содержание калия установлено в пахотном слое некарбонатных почв, низкое и среднее – в карбонатных почвах. В целом Омские черноземы бедны минеральным фосфором, но богаты калийсодержащими первичными минералами.

Таблица 1 Содержание в почвах элементов минерального питания

Почва	Элементы минерального питания в слое 0-20 см, мг/кг почвы		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Почвы лесостепной зоны			
Чернозем обыкновенный карбонатный среднетяжелосуглинистый	5,8	75	325
Черноземы обыкновенные среднетяжелосуглинистые	12,2	160	200
	3,4	83	212
Лугово-черноземная среднетяжелосуглинистая почва	1,4	88	123
Луговая осолодевшая среднетяжелосуглинистая почва	2,0	150	251
Почвы степной зоны			
Чернозем южный среднетяжелосуглинистый	4,2	112	162
Чернозем южный карбонатный среднетяжелосуглинистый	9,3	94	278
Черноземно-луговая среднетяжелосуглинистая почва	2,6	94	212
Чернозем обыкновенный среднетяжелосуглинистый	2,0	390	737
Черноземно-луговая маломощная среднетяжелосуглинистая почва	4,7	157	162
Чернозем обыкновенный карбонатный среднетяжелосуглинистый	14,0	118	300
Черноземно-луговая карбонатная среднетяжелосуглинистая почва	11,6	128	175
Черноземно-луговая карбонатная среднетяжелосуглинистая почва	5,0	348	387

Уровень плодородия почв обследованной территории оценивали через относительный индекс окультуренности и комплексный агрохимический показатель. На обследованной площади пашни почвы имели среднюю и высокую степень окультуренности, так как индекс окультуренности находился в интервале от 0,73 до 0,98. Минимальный комплексный агрохимический показатель был установлен для черноземов обыкновенных и южных и составил 47-56 баллов. Почвы с высоким и очень высоким содержанием элементов питания и гумуса оценены в 80-95 баллов. По мере уменьшения в почвах количества подвижных форм калия, фосфора и гумуса балл комплексного агрохимического показателя снижался до 61-79.

УДК 631.46

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭДАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСЕВНОЙ СТРУКТУРЫ ЮГА РФ

Богдан Е.В.^{1,2}

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва,

²МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, evebogdan@yandex.ru

В настоящее время для выявления оптимального набора культур и технологий в сельском хозяйстве все чаще используются прогнозные модели, позволяющих симулировать и предсказывать урожайность планируемых к возделыванию культур учитывая динамику системы почва-климат-технологии в пространстве и во времени. Результаты таких ретроспективных и симуляционных моделей так же применяются для корректировки актуальных технологических карт при проведении посевных мероприятий и корректировки технологий во время вегетации растений и при долгосрочном планировании мелиоративных проектов. Прогноз урожайности культур, а также всех параметров, связанных с растениями, требует точного местоположения произрастания определенного сорта определенной культуры.

В мире в зависимости от страны сложились разные подходы к инвентаризации возделываемых культур. В рамках политики продовольственной безопасности в некоторых странах, таких как Франция, Англия, США, Канада и Австрия, есть открытые ежегодные фактические карты посевной структуры. В других странах с помощью методов машинного обучения предприняты попытки получения таких карт. Точность карт и набор культур для прогноза варьируют в зависимости от страны и количества данных на территорию. На Россию таких данных в открытом доступе не существует.

В рамках работы был разработан алгоритм инвентаризации посевной структуры России. В качестве входных данных использовались базы данных смежных стран, а также модельные карты, точность которых выше 90% за 2019 год. На основе подготовленных спутниковых данных Landsat 7-9 были рассчитаны вегетационные индексы и использованы в качестве предикторов для модели. С помощью методов машинного обучения была получена модель распространения сельскохозяйственных культур на территории Северо-Кавказского и Южного федеральных округов России.

УДК 631.9; 502/504

ГИС ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА*

Исаева Ж.Б.¹, Алябина И.О.²

¹ТОО «Инновационный Евразийский университет», Павлодар, e-mail: zhanetta.aysha@mail.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: alio@yandex.ru

Под природно-ресурсным потенциалом понимается совокупность природных ресурсов территории, которые могут быть использованы экономически выгодно с учётом результатов научно-технического прогресса и способствуют повышению благосостояния населения. К ним относятся энергетические, земельные и почвенные, водные, лесные, живые организмы (флора и фауна), полезные ископаемые (минеральные ресурсы), климатические и рекреационные ресурсы. Занимая 9-е место в мире по площади, Республика Казахстан обладает значительным природно-ресурсным потенциалом, что способствует развитию многоотраслевого хозяйства.

Одним из крупнейших экономически развитых регионов Казахстана является Павлодарская область, занимающая 12475,5 тыс. га (4,6 % территории страны). Она расположена на северо-востоке Казахстана, с севера граничит с Омской, Новосибирской областями и Алтайским краем Российской Федерации. По состоянию на 01 ноября 2022 года почти 60% (7390,7 тыс. га) земельного фонда Павлодарской области это земли сельскохозяйственного назначения. На земли населённых пунктов приходится менее 15%, на земли особо охраняемых природных территорий – 3%, земли промышленности, транспорта, связи и иного несельскохозяйственного назначения занимают около 1%, земли водного фонда и земли

лесного фонда – доли 1%, земли запаса – свыше 20% площади. В структуре угодий земель сельскохозяйственного назначения преобладают пастбища (более 70%), пашня занимает около 23%, остальная площадь приходится на сенокосы, залежь и многолетние насаждения. Павлодарская область располагает значительными ресурсами земель, однако степень их пригодности для ведения сельского хозяйства в целом по области невелика и значительно различается по районам.

Для оценки природно-ресурсного потенциала Павлодарской области создана геоинформационная система (ГИС). Основу ГИС составили картографические материалы, представленные в таблице. Картографические материалы привязывали, цифровали и обрабатывали в программах MapInfo 15.0. Также привлечены многочисленные литературные и аналитическо-справочные данные.

Таблица. Картографические материалы, включённые в ГИС Павлодарской области

№	Название	Масштаб
1	Почвенная карта Республики Казахстан	1:5 000 000
2	Почвенно-географическое районирование	1:5 000 000
3	Геоэкологическое районирование	1:7 500 000
4	Карта экосистем	1:5 000 000
5	Биологическая эффективность климата	1:7 500 000
6	Сельскохозяйственное воздействие на ландшафты	1:5 000 000
7	Эрозия и дефляция почв	1:7 500 000
8	Опустынивание и деградация земель	1:5 000 000
9	Деградация земель под воздействием выпаса скота	1:7 500 000

Анализ собранных в ГИС данных позволил получить подробную характеристику территории Павлодарской области на основе представленных на картах параметров состояния природных и антропогенных ландшафтов, оценок различных деградационных процессов, сопоставить по этим критериям административные районы области.

Климат области засушливый, резко континентальный с жарким коротким летом (3 месяца) и холодной продолжительной зимой (5,5 месяцев). Из 10 природных зон, выделяемых в Республике Казахстан (лесостепная, степная, сухостепная, полупустынная, пустынная, предгорно-пустынно-степная, субтропическая пустынная, субтропическо-предгорно-пустынная, среднеазиатская горная, южно-сибирская горная), на территорию Павлодарской области попадают лесостепная, степная и сухостепная природные зоны.

Рельеф области большей частью равнинный, с преобладающими высотами 100-200 м над уровнем моря, лишь на крайнем юге и юго-западе они превышают 300-400 м, а в пределах горных отрогов Сарыарки отдельные вершины достигают высоты более 1000 м.

Особенностью рельефа являются гривы и многочисленные степные западины, котловины, занятые озёрами. С юго-востока на северо-запад территорию области на протяжении более 500 км пересекает река Иртыш. По гидрологической классификации Павлодарская область относится к региону со значительными водными ресурсами: ресурсы поверхностных вод составляют около 30 км³/год (почти четверть ресурсов Республики Казахстан), а подземных вод – свыше 4 км³/год.

На территории области широко распространены рыхлые отложения континентального происхождения. Четвертичные отложения разделяются на аллювиальные, озёрно-аллювиальные, озёрные, покровные, золово-делювиальные и делювиальные.

В области растительный покров носит комплексный характер. Крайний север области относится к зоне лесостепи. Здесь развиты степи на южных чернозёмах, южнее – степи с бедным сухолюбивым разнотравьем на слабозасолённых тёмно-каштановых почвах.

Широкие бессточные понижения в степи (западины, ложбины, котловины) заняты разнообразными лугами на луговых чернозёмах и солодах. На юго-востоке области в пределы этих степей заходят массивы сосновых ленточных боров. Почти для всей площади Прииртышской равнинной степи характерны азональные комплексы разнотравно-злаковых и

солончаковых лугов приозёрных низин и долин рек, а также полынные и солянки на солонцах и солончаках. Пойма занята лугами и пойменными лесами. На большей части правобережья Иртыша и в пределах мелкосопочника преобладает степная растительность на тёмно-каштановых супесчаных почвах. В долинах рек и ложинах мелкосопочника местами встречаются берёзовые рощи и кустарниковые заросли, а на склонах гор произрастают типичные сосновые боры.

Согласно цифровой почвенной карте, в почвенном покрове Павлодарской области преобладают солонцы (20%), комплекс тёмно-каштановых солонцеватых почв с солонцами и тёмно-каштановые почвы (по 13%). По 8% занимают тёмно-каштановые малогумусные, тёмно-каштановые неполноразвитые щелнистые почвы и комплексы каштановых солонцеватых с солонцами. На остальные почвы приходится от долей процента до 3,8%. Это южные чернозёмы, каштановые неполноразвитые, светло-каштановые, светло-каштановые солонцеватые и неполноразвитые, луговые и пойменные почвы, комплексы почв с солонцами, а также боровые пески, горные каштановые и горные чернозёмы. Доля водных поверхностей составляет около 1%.

Созданная (и пополняемая) ГИС послужит инструментом для комплексного анализа картографических и других материалов, характеризующих природные и социально-экономические условия региона, хозяйственное использование ресурсов, имеющееся и потенциальное антропогенное воздействие на окружающую среду. ГИС является базой для всестороннего изучения природных ресурсов территории, получения на основе оценки отдельных составляющих общей картографической оценки природно-ресурсного потенциала Павлодарской области Казахстана, в том числе по административным районам. Работа даст возможность оценить эффективность использования природного потенциала территории, разработать научно обоснованные рекомендации для землепользования.

* Работа выполнена по теме № 1736–р Аграрного центра МГУ имени М. В. Ломоносова.

УДК 631.41

РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕТЬ ТЕСТОВЫХ МОНИТОРИНГОВЫХ ПОЛИГОНОВ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ АГРОРЕСУРСНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Комаров А.А.^{1,2}, Суханов П.А.¹, Кирсанов А.Д.², Селиванова Т.В.

¹Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург,

e-mail: Zelenydar@mail.ru

²Карельский научный центр РАН

Мониторинг почв земель сельскохозяйственного назначения на тестовых (реперных) полигонах (участках) представляет собой систему постоянных комплексных наблюдений за состоянием сельскохозяйственных угодий, плодородием почв, потоками биогенных элементов, антропогенной нагрузкой, качеством и количеством сельскохозяйственной продукции и др. параметрами. Комплексный характер наблюдений заключается в одновременном отслеживании состояния сельскохозяйственных угодий, вида и интенсивности их использования, плодородия почв, величины и качества урожая, количества и качества выпадающих осадков (снег, дождь), качества грунтовых и поверхностных вод. Такой подход обеспечивает своевременное выявление и прогноз изменений плодородия почв, качества и количества сельскохозяйственной продукции, предупреждение и устранение негативных процессов, происходящих в окружающей среде при хозяйственной деятельности. Важным, при проведении мониторинговых исследований, является изучение влияния сельского хозяйства в загрязнении водоемов и водотоков, а также возможность расчета баланса и потоков биогенных элементов.

Работы по мониторингу плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения проводились на основании соответствующих методических рекомендаций. При

совершенствовании методологии комплексного мониторинга плодородия почв сельскохозяйственных земель наряду с отражением традиционных положений учитывалась необходимость:

- расширения набора контролируемых агрохимических, агрофизических и биологических показателей плодородия почв для его более полной оценки и повышения эффективности применения удобрений и других систем земледелия;
- разработки рациональных (оптимальных) уровней плодородия основных типов, подтипов и разновидностей почв по расширенному перечню показателей для ведущих сельскохозяйственных культур;
- разработки и проведения комплексного мониторинга плодородия почв, необходимого для перехода к экологически и экономически обоснованным системам земледелия;
- обследование тестовых полигонов и составление карт на основе принципов точного земледелия с использованием мобильных информационно-измерительных средств, обеспечивающих координатную привязку по GPS-приемникам;
- обеспечение взаимосвязи результатов научных исследований, материалов комплексного мониторинга плодородия почв с выходом на кадастр и общенациональную систему контроля за состоянием земель сельскохозяйственного назначения.

Для проведения мониторинговых исследований было сформировано 12 тестовых полигонов, расположенных в основных агроклиматических зонах района на типичных почвах и агроландшафтах региона. Каждый полигон располагался на полях хозяйств с разным уровнем интенсификации производства с привязкой их по GPS. По выбранным координатам полей в динамике производилась оценка состояния почвенного и растительного покрова. Оценка вегетационных и иных индексов осуществлялась с использованием космических и авиаснимков (применялись беспилотные модели с крылом и коптеры). Последнее было необходимо для создания моделей оптимизации использования земельных и растительных ресурсов в АПК, где предусматривается формирование научно-технических программ дальнейшего реформирования земельной службы; проведение инвентаризации земельных ресурсов и создание моделей оптимального их использования; формирования службы, интегрирующей деятельность почвенной, землеустроительной, агрохимической, растениеводческой и других служб на современной основе.

Информация, собираемая на полигоне, призвана была обеспечивать агротехнологические решения не только на самом полигоне, но и на территории, обслуживаемой полигоном. Эта информация может служить основой для управления агроресурсным потенциалом (АРП). Где АРП рассматривается как сложная функционирующая, управляемая человеком система. С научной точки зрения новизна полученных результатов состоит в развитии концепции АРП, в разработке методических предложений по формированию региональной сети тестовых полигонов на территории РФ, выступающих в качестве инструментария для обеспечения эффективного использования и оперативного управления АРП. Практически значимым является сбор и анализ с научно-методических позиций большого количества архивных материалов почвенных и агрохимических обследований, данных учета и оценки земель. Положительное заключение об информативной значимости изученных и проанализированных архивных материалов свидетельствует о возможности их использования в настоящее время для оценки состояния земель, динамики плодородия почв, прогноза изменения отдельных свойств и других целей.

Исходя из многолетнего опыта можно сделать заключение, что комплексный агроэкологический мониторинг в региональной сети тестовых полигонов следует рассматривать как основное (базовое) звено в системе общего мониторинга на земельной территории страны, поскольку полученные результаты показали высокую его эффективность в качестве действенного инструмента в обеспечении не только контроля, а также инновационного и информационного обеспечения управленческих и технологических решений в сфере использования и управления АРП.

На основании изложенных принципов впервые в условиях отдельного региона (Ленинградской области) была сформирована сеть тестовых полигонов (12-полигонов). Она обеспечила возможность объективной комплексной оценки состояния агроландшафтов. Включала оценку плодородия почв и его динамику по годам; учет биологической и хозяйственной урожайности, качество и безопасность сельскохозяйственной продукции; влияние сельскохозяйственного производства на поверхностные и грунтовые воды; состояние и эффективность работы мелиоративных систем в разные по погодным условиям годы. Обеспечивала выявление негативных и деградационных процессов, в частности определение ускорения темпов подкисления почв и усиления выноса элементов питания из верхних горизонтов почв в почвообразующие и подстилающие породы. Совершенно новым в комплексе исследований на тестовых полигонах стали наблюдения за ростом и развитием посевов сельскохозяйственных культур в вегетационный период, где использовался комплексный подход наземных и дистанционных исследований (ДЗЗ) с применением и дешифровкой космических снимков и данных снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Таким образом, производился постоянный контроль за состоянием посевов как традиционными наземными визуальными, так и новыми инструментальными методами с использованием средств дистанционного зондирования. Важно отметить, что систематическая оценка состояния посевов в вегетационный период обеспечивала возможность оперативно формировать рекомендации по управлению производственными процессами и осуществлять их в производственных посевах сельхозпредприятий в соответствии с принципами точного земледелия. Такое взаимодействие науки и сельхозтоваропроизводителей обеспечивало устойчивые урожаи в различные по погодным условиям годы.

Методологические принципы формирования региональной сети тестовых полигонов, разработанные в ФГБНУ АФИ и успешно реализованные на примере Ленинградской области могут быть приняты за основу при формировании региональной сети тестовых полигонов в других регионах на территории РФ. Одним из основных направлений в исследованиях по дальнейшему развитию концепции АРП должно стать научное обоснование подходов к его оценке и апробация разработанных подходов для различных по конкретным условиям регионов.

УДК 633.11:551.4 (571.150)

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОГЕННЫХ ПОЧВ И РЕЖИМЫ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г.

АГАУ, Алтайский край, Барнаул, e-mail: kononcevaasau@mail.ru; zhan.khludentsov@mail.ru

Земли сельскохозяйственного назначения подвержены воздействию ряда негативных факторов, развитию деградационных процессов (эрозии, дегумификации, агроистощению, физической, химической деградации почвенного покрова, осолонцеванию, вторичному засолению, заболачиванию и т.д.). Возрастающая антропогенная нагрузка на земли сельскохозяйственного назначения приводит к усилению негативных процессов, трансформации их качественных и количественных характеристик. Использование таких земель целесообразно осуществлять на основе экологической оценки территории путем выделения уровней природно-антропогенных экологических нарушений (нормы, риска, кризиса, бедствия), основанных на степени глубины экологических нарушений. Экологическая оценка состояния почв с учетом специфики их местоположения, генезиса, буферности, характеристики агроэкологических участков может служить основой рациональной организации территории, разработки режимов рационального использования территории, направленное на воспроизводство почвенного плодородия. Критериями оценки

служат качественно-количественные показатели почв, степень проявления деградационных процессов, продуктивность возделываемых культур. Она базируется на пространственной неоднородности структур почвенного покрова, свойствах почв, неоднородностей рельефа, пестроты почвообразующих пород, глубины залегания грунтовых вод, особенностей литологического строения территории, степени проявления деградационных процессов (эрозии, засоления, осолонцевания и др.).

Для удобства проведения экологической оценки территории можно использовать субстантивно-генетическую классификацию почв России, отражающей в системе таксономических единиц естественные и антропогенно-преобразованные почвы, разных стадий трансформаций, диагностика которых требует специальных исследований.

Исследования по изучению современного состояния агрогенных почв проведено на полях хозяйства (земли хозяйства К(Ф)Х «Макаров С.А.» и некоторым смежным хозяйствам в Угловском районе Алтайского края. Полевые исследования почв проведены с использованием сравнительно-географического, картографического, профильного, морфологического методов.

Почвенный покров территории исследования представлен агрокаштановыми типичными почвами (АК), агроземами текстурно-карбонатными типичными ($A_{3\text{тк}}$) и агроземами текстурно-карбонатными гидрометаморфизованными ($A_{3\text{тк}}^{\text{ГМ}}$), агрообраземами текстурно-карбонатными типичными ($AA_{\text{бтк}}$), солонцами светлыми гидрометаморфизованными ($Сн_{\text{с}}^{\text{ГМ}}$) и гидрометаморфическими ($Сн_{\text{ГМ}}$), солончаками типичными (Ск).

Современное состояние почвенного плодородия рассмотрим по характеристике полей на землях К(Ф)Х «Макаров С.А.» Угловского района. Изучение строения почвенного профиля осуществляли путем заложения почвенных выработок (полнопрофильных почвенных разрезов, полуям, прикопок). Всего заложено 14 полнопрофильных разрезов, 72 полуямы, 60 прикопок.

Методика выделения уровней экологического состояния почв для условий сухой степи с невыраженным рельефом основана на проведении: современных почвенных исследований и составления почвенной карты по субстантивно-генетической классификации, отражающей таксоны естественных, антропогенных и антропогенно-преобразованных почв, приуроченных к различным элементам рельефа; определения количественных признаков агрогенных почв по диагностическим (агрохимическим) свойствам; выделения агроэкологических категорий типов земель (составления картограммы агроэкологических категорий типов земель); отражения степени эрозионных процессов (составления картограммы эродированности земель); оценки продуктивности возделываемых культур и выявления процента её снижения за счет воздействия негативных факторов (эродированности, засоления и др.).

Учет вышеперечисленных факторов позволил выделить следующие уровни экологического состояния (УЭС) почв: Норма (Н), умеренный риск (Р1), повышенный риск (Р2), умеренный кризис (К1), повышенный кризис (К2), высокий кризис (К3).

Удельный вес УЭС Норма (Н) составляет 1,75 % от площади исследуемой территории, с агрокаштановыми типичными со снижением продуктивности за счет дегумификации от 0 до 8 % и агрокаштановыми гидрометаморфизованными. Режимы рационального использования агроландшафтов соответствуют агроэкологической категории Па для дефляционно-опасных почв.

В уровень экологического состояния умеренный риск (Р1) вошли агроландшафты с агроземами текстурно-карбонатными гидрометаморфизованными, занимающие площадь 55,2%, обеспечивающими снижение продуктивности яровой пшеницы от 8 до 26 %, включающие режимы рационального использования агроэкологической категории Пб₂ для среднесмытых и среднедефлированных почв.

Уровню экологического состояния повышенный риск (Р2), соответствуют территории, почвенно-климатические показатели которых обеспечивают снижение продуктивности

культуры от 27 до 35% (агроземы текстурно-карбонатные типичные, каштановая гидрометаморфизованная солончаковая), занимающие площадь 21,87 %, с режимами рационального использования агроэкологической категории Пб₂ для среднеэродированных почв.

К УЭС умеренный кризис (К1) отнесено 19,27 % территории, занятой агрообразцами текстурно-карбонатными типичными потенциальное, плодородие которых обеспечивает снижение продуктивности яровой пшеницы от 35 до 42% за счет интенсивного проявления эрозионных процессов и агроземов солонцовых светлых, снижение продуктивности которых связано с эрозионным и солонцовым процессами. Режимы рационального использования данной территории соответствуют агроэкологической категории Пб₃ для сильнодефлированных почв.

К территории с повышенным кризисом (К2) отнесены участки, на долю которых приходится 0,67 % площади сельскохозяйственных угодий, с агроземами текстурно-карбонатными засоленными, гумусово-гидрометаморфическими засоленными обеспечивающими снижение продуктивности от 40 до 70 %, и режимами использования, соответствующими агроэкологической категории Ша.

К уровню экологического состояния высокий кризис (К3) отнесено 2,6 % земель, занятых солончаками (глеевыми и сульфидными), перегнойно- гидрометаморфическими типичными, гумусированными слаборазвитыми песчаными и несчаными слаборазвитыми – земли непригодные для возделывания культур.

Сопоставляя данные анализа рельефа местности, почвенных условий, агроэкологических категорий типов земель и оценки продуктивности культуры для выделенных уровней экологического состояния почв агроландшафтов разработаны рекомендации по регулированию почвенного плодородия и режимы их рационального использования в условиях района исследования.

УДК 631.4

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ НА ПРИМЕРЕ КОНТРАСТНЫХ РАЙОНОВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Лозбенев Н.И.¹, Шилов П.М.¹, Лозбенева Э.А.², Курпас К.А.³

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, nlozbenev@mail.ru; shilov_pm@esoil.ru;

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, elina7-sheremet@mail.ru;

³Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель (ВНИИМЗ), филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» пос. Эммаусс, Тверская область, ksyu.stolyarova@bk.ru

На протяжении последних десятилетий крайне актуальной остаётся проблема забрасывания сельскохозяйственных угодий в нашей стране. Тренд на сокращение площади пашни в Нечерноземье начался еще перед революцией, усилился в советские годы, а при переходе к рыночной экономике приобрел и вовсе пугающие масштабы. Наиболее заметна эта проблема в Центральном Нечерноземье. Например, в Тверской области площадь залежей сейчас оценивается в более, чем 915 тыс. га - около 5% от неиспользуемых пашен РФ. Решить эту комплексную проблему призвана Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации. Одной из задач этой программы выступает «проведение оценки состояния плодородия неиспользуемой пашни...».

На сегодняшний день оценка мониторинг состояния и плодородия залежных земель проводится или должен проводиться при обследованиях центров агрохимической службы регионов. При этом учитываются, в основном, агрохимические показатели почв. При этом недостаточно внимания уделяется консервативным свойствам самих почв: гранулометрическому и литологическому составу, интенсивности проявления

переувлажнения и эрозии. Эта проблема решается в рамках агроэкологической оценки земель. В настоящее время обобщение опыта оценки земель и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия в крупных сельскохозяйственных предприятиях ориентирует на формирование комплексной системы оценки сельскохозяйственных земель. Она состоит из трёх взаимосвязанных компонентов: агроэкологической, агрономической и экономической оценок земель.

Применение инструментария агроэкологической и агрономической оценки земель для залежных земель используется достаточно редко, поэтому целью нашей работы стало проведение таких оценок для контрастных по агроэкологическим условиям района Тверской области: Калининского, Кашинского и Нелидовского районов. На основании собственных полевых обследований и крупномасштабных почвенных карт колхозов и совхозов было определено разнообразие почв региона и дана их агроэкологическая оценка. Абсолютно доминируют дерново-подзолистые глееватые суглинистые почвы и дерново-подзолы песчаные и супесчаные в пределах Верхневолжской низменности. Кроме того, значительные ареалы в подчиненных позициях мезорельефа занимают дерново-глеевые и болотные почвы. Для всего ряда почв был составлен реестр агроэкологических групп и видов земель, в котором микроструктуры почвенного покрова сгруппированы по характеру и интенсивности проявления лимитирующих сельское хозяйство факторов. Выделены плакорная, слабоэрозионная, слабополугидроморфная, полугидроморфная, слабогидроморфная, гидроморфная, литогенная, слабополугидроморфно-литогенная, сильнополугидроморфно-литогенная и пойменная группы земель. Состав почвенных комбинаций приведен на рисунке 1.

Для определения их пространственного распространения был использован инструментальный цифровой почвенный картографирование с применением метода машинного обучения RandomForest. В качестве обучающей выборки использовались более 1200 точек описаний с крупномасштабных почвенных карт. Предикторами в модели выступили морфометрические величины рельефа (по цифровой модели местности Sorernicus разрешением 30м) и среднегодовалые вегетационные индексы. Общая точность модели составила 44%, результат картографирования представлен на рисунке 1. Наибольшие площади в районе занимает слабополугидроморфная и полугидроморфные группы, а также их литогенные варианты. Область изучения ограничена землепользованиями бывших колхозов и совхозов – землями сельскохозяйственного назначения.

Агроэкологическая и агрономическая оценка земель проведена экспертно на основе данных многолетнего мониторинга и учета урожайности посевов во ВНИИМЗе, пос. Эммаусс. Показано, что в годы с разной влагообеспеченностью основные районированные культуры дают разный урожай в зависимости от гранулометрического состава почв и типа водного режима. В условиях избыточного атмосферного увлажнения относительно повышенные урожаи сохраняются на землях с почвами облегченного состава из-за интенсивного оттока влаги, а в условиях недостаточного – на землях с почвами суглинистого состава и признаками оглеения. Земли со значительными проявлениями переувлажнения показывают низкие значения урожайности зерновых культур практически во все годы, но для трав эта закономерность не наблюдается. Вследствие этого можно оценить, что экономически эффективно при наличии инвесторов было бы вводить залежные земли в плакорной, слабоэрозионной, слабо- и полугидроморфной землях, а также слабополугидроморфно-литогенной. Ввод в оборот литогенных и гидроморфных земель в условиях Нечерноземья нецелесообразно.

Аналогичная работа была проведена для возвышенного и более дренированного Кашинского района с дерново-подзолистыми почвами на покровных суглинках и Нелидовского района на покровных суглинках и морене. Показаны ареалы распространения агроэкологических групп земель и, опираясь на доступные по Калининскому району данные урожайности культур, проведена их агроэкологическая и агрономическая оценка.

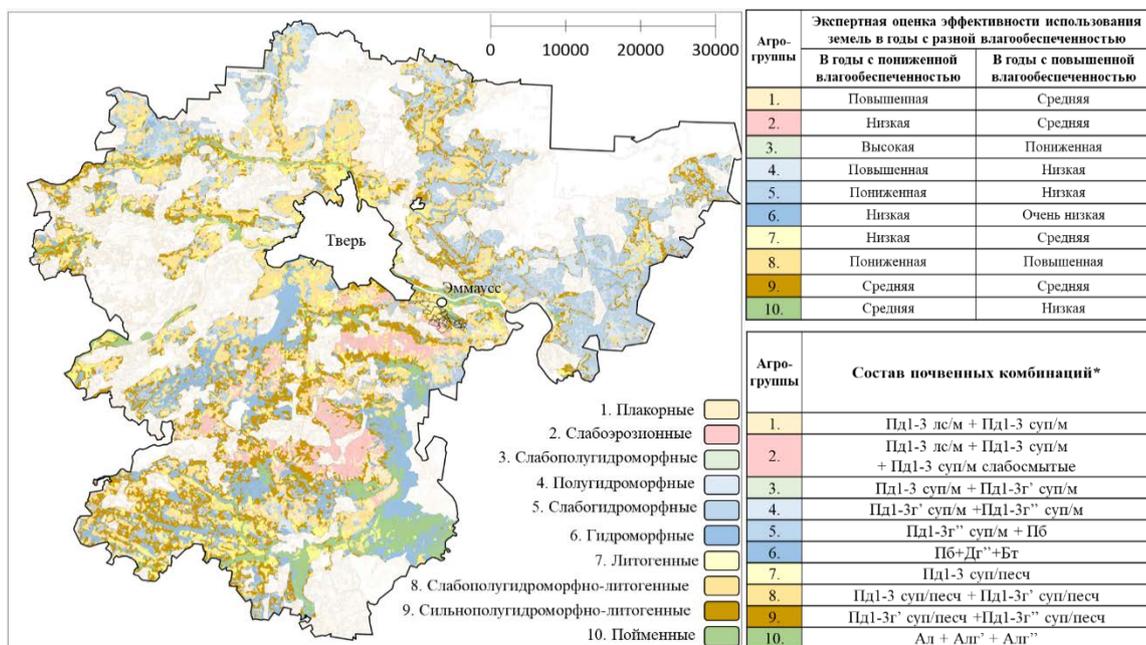


Рис. 1. Агроэкологическая группировка и оценка земель Калининского района Тверской области. *Пд1-3 – дерново-слабо-, средне- или сильноподзолистые, Пб – подзолисто-болотные, Д – дерновые, Бг – торфянисто-болотные, Ал – аллювиальные; лс – легкосуглинистые, суп – супесчаные, песч – песчаные; г' – глееватые, г'' – глеевые.

УДК 631.46

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ «РАССВЕТ-СТАВРОПОЛЬЕ»

Мегмерова В.О.

Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, v.megmerova@gmail.com

Работа посвящена оценке качества и плодородия почв с использованием методов цифрового почвенного картографирования на примере почв сельскохозяйственного предприятия – опытной станции «Рассвет-Ставрополье», расположенной в Ставропольском крае. Работа выполнена на основе данных полевого обследования почв, результатов лабораторных химико-аналитических исследований, анализа фондовых материалов, а также открытых цифровых данных (цифровой модели рельефа и данных дистанционного зондирования). Рассмотрена структура почвенно-географической базы данных, созданной по результатам полевого обследования. Приведены результаты цифрового прогнозного картографирования почвенного покрова исследованной территории на основе выявленных почвенно-ландшафтных связей. На основе расчета почвенно-климатических бонитировочных баллов выполнена агроэкологическая оценка почв опытной станции с их ранжированием по качеству/плодородию в соответствии с критериями, учитываемыми в использованных количественных индексах. Показано соотношение площадей пахотных земель с различными оценками почвенного плодородия.

УДК 631.42

МОРФОГЕНЕЗ И НЕКОТОРЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЛЕЖНЫХ АГРОПОЧВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА САЛЕХАРД (ЯМАЛО-НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

Низамутдинов Т.И.¹, Моргун Е.Н.², Печкин А.С.², Абакумов Е.В.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,

t.nizamutdinov@spbu.ru;

Продовольственная безопасность регионов Арктической зоны Российской Федерации сопряжена с количеством и качеством почвенных ресурсов пригодных для ведения сельского хозяйства различного типа. Освоение целинных земель и последующая мелиорация почв в Арктических условиях – это очень долговременный и дорогостоящий процесс. Одним из способов организации сельскохозяйственных угодий в высоких широтах является возвращение в оборот залежных земель, количество и качество которых в настоящий момент не оценено. В данной работе при помощи анализа архивных спутниковых снимков были обнаружены разновозрастные залежи в окрестностях г. Салехард. По спутниковым данным было выявлено, что наиболее старые залежи имеют возраст около 40 лет, а молодые от 2 до 5 лет. Общая площадь обнаруженных залежных земель составляет более 60 га. Эти сельскохозяйственные угодья были организованы на правом высоком берегу р. Обь, на легких (супесчаных) аллювиальных отложениях, фоновыми почвами являются торфяно-подбуры. Почвы можно классифицировать как агрозоны иллювиально-железистые постагрогенные. В почвенном профиле исследованных залежных агропочв прослеживается влияние процесса криотурбации – который выражается в виде волнообразных (реже завихренных) границ между пахотным и нижележащим горизонтами, мощность агрогенно-преобразованных горизонтов достигает 35 см. Было бы выявлено, что фоновые почвы (не использованные в сельском хозяйстве) сильнокислые $pH_{вод} - 3,3 \pm 0,1$; $pH_{сол} - 2,3 \pm 0,1$. Агрогенные и постагрогенные почвы характеризуются кислой или слабокислой реакцией среды. Максимальные значения были обнаружены в поверхностном горизонте агрозоны иллювиально-железистого постагрогенного, где значения были равны $pH_{вод} - 5,3 \pm 0,3$; $pH_{сол} - 5,5 \pm 0,3$. В действующем агрозоны - $pH_{вод} - 4,4 \pm 0,2$; $pH_{сол} - 3,6 \pm 0,1$. Запасы почвенного органического углерода максимальны в торфяных природных почвах (более 19 кг/м^2), однако в почве действующего с/х поля и почвах молодых залежей они также сравнительно высоки (более 7 кг/м^2). Что говорит о высокой насыщенности верхнего слоя почвы органическим веществом. В наиболее старых залежных почвах этот параметр снижается в силу процессов внутрипочвенного иллювиирования гумуса вниз по профилю. В фоновых почвах концентрации доступного фосфора $116,7 \pm 34,3 \text{ мг/кг}$, обменного калия $156,7 \pm 37,6 \text{ мг/кг}$. Во всех изученных залежных почвах (за исключением залежи возрастом 40 лет) концентрация доступного фосфора выше 200 мг/кг и достигает $944,3 \pm 32,0 \text{ мг/кг}$ в залежи возрастом 10 лет. Этот показатель довольно высокий и объясняется привнесением аллохтонного органического вещества в виде органических удобрений (навоза, компоста и др.) в почвенный профиль. Содержание обменного калия в фоновой почве по сравнению с залежными агрозомами, где его концентрации не превышают 100 мг/кг (кроме залежи возрастом 2 года, где концентрация калия $111,0 \pm 32,7 \text{ мг/кг}$). Калий в такие почвы поступает только в виде минеральных удобрений (в отличие от фосфора, большие концентрации которого могут быть обусловлены внесением органических удобрений) и обладает высокой миграционной способностью, т.е. выносится вниз по профилю с поверхностными водами, этот процесс также может ускоряться из-за легкого гранулометрического срединных почвенных горизонтов. Учитывая потенциальную пригодность исследованных почв (и трудоёмкость процесса с/х освоения целинной тундры) для ведения сельского хозяйства руководству ЯНАО рекомендуется провести уточнение площади залежных земель. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 24-44-00006

УДК 004.8

ОЦЕНКА И НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОЧВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Огородников С.С.

Московский авиационный институт, Москва, sir.ogorod@yandex.ru

XXI век – век больших данных. Объем информации в мире ежегодно удваивается. Чтобы эффективно обрабатывать информацию в разных отраслях науки и производства создаются базы данных, размеры которых могут достигать триллионов байт. Однако базы данных почвенных свойств имеют гораздо меньший объем. Глобальная база ландшафтных и почвенных данных «SOTER» занимает менее 10 Mb, а Гармонизированная всемирная база данных о почвах 44 Mb. При этом, по данным международных исследований, одно растение кукурузы за период вегетации генерирует 0,5 kb данных.

В ближайшие десятилетия рациональное использование почв и земель будет осуществляться на основе анализа больших данных. В сегодняшних экономических реалиях от этого зависит продовольственная безопасность страны. Существующие методы нормирования, бонитировки и оценки почв строятся на достаточно простых формулах и часто не учитывают мозаичность почвенного покрова и необходимость дифференцированных оценок даже в границе одного поля.

Таким образом, интеграция методов машинного обучения в почвоведение, выявление с их помощью на основе больших данных скрытых зависимостей между различными почвенными характеристиками и факторами почвообразования является крайне актуальной задачей как для фундаментальной науки, так и для сельскохозяйственного производства.

Научная значимость исследования строится на следующих факторах:

1. Сравнительный анализ различных методов машинного обучения (k-средних, байесовского классификатора, деревьев решений, нейронных сетей) позволит установить для каких задач тот или иной метод более эффективен в использовании.
2. Новый способ проведения агропроизводственной группировки на основе анализа больших данных спектроотражательных характеристик почвы и растительного покрова методом нейронных сетей.
3. Многофакторная модель зависимости спектроотражательных характеристик почвенного покрова и растительности от факторов почвообразования (рельеф, почвообразующая порода, растительность) и почвенных свойств (название почвенной разности, показатели плодородия).

Для создания агропочвенно-климатической базы данных был выполнен патентный поиск по существующим базам данных для других регионов. Всего выявлено 15 баз почвенных данных, 5 из них - это «Информационно-справочная база почв сельскохозяйственных угодий» различных федеральных округов РФ. Базы данных созданы для расчета нормативной урожайности сельскохозяйственных культур. Анализ показывает, что данные базы не велики по объему и не содержат данных дистанционного зондирования.

Далее проанализированы различные решения по обработке и интеграции собранной информации в базу данных, с учетом имеющихся отечественных разработок.

В качестве реляционных решений для хранения и обработки данных были исследованы такие системы, как PostgreSQL и MySQL, которые широко известны своей надежностью, производительностью и поддержкой сложных запросов. Эти системы обеспечивают строгую схему данных и поддержку транзакций, что является важным для целостности и надежности данных.

Однако, учитывая необходимость обработки большого объема неструктурированных или слабоструктурированных данных и потребность в высокой гибкости, также были рассмотрены нереляционные (NoSQL) базы данных. MongoDB, как одна из ведущих NoSQL систем, была выбрана для тестирования благодаря своей способности к горизонтальному масштабированию, гибкости схемы данных и эффективной работе с большими объемами разнотипных данных. Кроме того, были исследованы и другие NoSQL системы, такие как Cassandra и Couchbase, которые предлагают различные принципы работы, включая колоночное хранение данных и механизмы репликации для обеспечения высокой доступности и масштабируемости. Исследования показали, что традиционные реляционные

схемы хранения данных, несмотря на их надежность и широкое распространение, сталкиваются с серьезными проблемами при работе с данными такого масштаба и сложности. Основными недостатками реляционных систем, таких как PostgreSQL и MySQL, стали проблемы с нормализацией данных и ограничения производительности, особенно касающиеся скорости чтения и записи. В условиях, когда каждый набор данных состоит из множества снимков с высоким разрешением, необходимость в обработке большого количества запросов и поддержании актуальности данных оказалась непосильной задачей для реляционных баз данных, что существенно снижало общую эффективность обработки. В то же время, MongoDB, как представитель нереляционных (NoSQL) баз данных, продемонстрировала значительно лучшие результаты по всем ключевым параметрам. Гибкость схемы данных, высокая скорость работы с большими объемами неструктурированных данных, а также способность к горизонтальному масштабированию позволили эффективно справляться с задачами хранения и обработки ДДЗ. MongoDB обеспечила улучшенную производительность при чтении и записи данных, а также обладает достаточной гибкостью для адаптации к разнообразным требованиям исследования, включая изменения в объеме и структуре данных с течением времени. Колоночные базы данных, такие как Cassandra и Google Bigtable, также показали себя эффективными при работе с имеющимися массивами данных, благодаря их способности к быстрому анализу больших объемов данных и оптимизации процессов чтения и записи. Однако, эти системы столкнулись с ограничениями в плане гибкости схемы данных и сложности интеграции с другими компонентами нашей системы, что оказалось критичным для динамичной природы данных дистанционного зондирования, где часто требуются изменения в структуре и формате данных. Также, проблемой стала необходимость в более сложном управлении и поддержании этих систем, что потребовало бы значительных дополнительных ресурсов и времени.

На основе проведенного анализа создана блок-схема обработки почвенных данных (рисунок 1).



Рисунок 1. Блок-схема получения, обработки и анализа почвенных данных

Таким образом в рамках проведенного исследования создана база данных агоро-почвенно-климатических свойств территории Тульской области. База включает в себя семантический и геометрический наборы неданных. Семантический набор реализуется с помощью реляционных баз данных. Атрибутивная база данных содержит сведения о конкретных показателях и свойствах почв. Геометрический набор данных содержит сведения о точках отбора образцов, полигоны, представленные территорией полей и площадями отбора смешанных образцов и растровые данные дистанционного зондирования.

УДК 631.48, 631.452

ЛИТОГЕННЫЕ АСПЕКТЫ В РАЗВИТИИ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОЦЕНКУ (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Рюмин А.Г., Симонова Ю.В., Русаков А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, a.ryumin@spbu.ru

Литогенная основа играет важную роль в формировании почвенных условий для производства сельскохозяйственной продукции. После снятия агрогенной нагрузки от того, на какой почвообразующей породе сформирована почва, будет зависеть скорость ее восстановления до зональных почв, постагрогенные растительные сукцессии, длительность сохранения признаков агрогенеза и стабилизация минерального питания растений. В связи с важностью инвентаризации и выявления земель, пригодных для возврата в сельскохозяйственный оборот в нечерноземной зоне, важно представлять, почвы на каких породах имеют для этого наибольший агроэкологический потенциал.

С этой целью нами использовался почвенно-экологический индекс (ПЭи), применяемый в модели бонитировки пахотных почв и в значительной степени в кадастровой оценке сельхозугодий. Комплексный показатель ПЭи представляет собой произведение климатической, агрохимической и почвенной составляющих. Следовательно, чем больше значение каждого из множителей, тем выше балл бонитета почв. Влияние литологического фактора оценивалось нами на агрохимическую и почвенную составляющие ПЭи.

Для этого было рассмотрено более 30 разрезов почв под залежами Ярославской области, относящихся в основном к агродерново-подзолистым почвам, агродерново-подзолистым почвам со вторым гумусовым горизонтом, агроземам текстурно-дифференцированным и агроземам светлым постагрогенным.

В почвах были определены необходимые для расчета агрохимической составляющей ПЭи рН_{сол}, содержание обменного фосфора (Робм) и обменного калия (Кобм). Для расчета почвенной составляющей ПЭи использовались данные о гранулометрическом составе почв, содержании органического вещества (Сорг), выраженности степени оглеения.

В качестве основного фактора варибельности агроэкологических свойств почв рассматривался тип почвообразующей породы. В зависимости от этого фактора почвы были объединены в группы и был выполнен анализ средних значений и стандартных отклонений вышеуказанных показателей от среднего для каждой группы.

Литогенное разнообразие представлено пятью группами: почвы на покровных суглинках (1), на моренных суглинистых отложениях (2), на покровных суглинках, подстилаемых мореной (3), на озерных песках и супесях (4), на водно-ледниковых и озерных супесях, подстилаемых карбонатной мореной или озерными суглинками (5).

Анализ средних значений и стандартных отклонений от среднего в зависимости от литологической основы показал, что самое высокое содержание физической глины ($38 \pm 7\%$) имели почвы на покровных суглинках. Самое низкое содержание физической глины, как и ожидалось, выявлено в почвах на озерных супесях ($19 \pm 4\%$) и породах водно-ледникового и озерного генезиса, подстилаемых более тяжелыми по гранулометрическому составу породами ($19 \pm 4\%$).

Содержание Сорг наиболее высокое у почв на морене ($1.73 \pm 0.5\%$), а также в группе почв на покровных суглинках ($1.50 \pm 0.5\%$). В остальных группах содержание Сорг составило от 1.13 до 1.22% с минимальным показателем у почв на двучленных отложениях.

Наибольшим средним содержанием Робм и Кобм – 111 ± 70 мг/кг и 84 ± 7 мг/кг, соответственно, обладает группа почв на морене. Кроме того, высоким содержанием Робм характеризовались почвы на озерных супесях (87 ± 33 мг/кг), а Кобм – почвы на покровных суглинках (69 ± 28 мг/кг). Самые низкие значения Робм выявлены в группе почв на покровных суглинках, подстилаемых мореной (47 ± 39 мг/кг), а Кобм – в группе почв на двучленных отложениях (43 ± 29 мг/кг). Зато почвы на легких породах водно-ледникового и озерного генезиса, подстилаемых карбонатной мореной или озерными суглинками (рН_{сол} 5.3 ± 0.7), вместе с почвами на озерных супесях (рН_{сол} 5.3 ± 0.9) обладают меньшей среди других почв кислотностью. Наиболее кислыми оказались почвы на морене с рН_{сол} 4.8 ± 0.4 и почвы на покровных суглинках, подстилаемых мореной, с рН_{сол} 5.0 ± 0.6 .

Степень оглеения влияет на агроэкологическую оценку почв посредством введения понижающего коэффициента в почвенную составляющую ПЭи. В каждой из рассмотренных групп почв встречались почвы с проявлением оглеения.

По результатам подсчета почвенной составляющей ПЭи максимальные значения (6.47) были установлены у почв на морене с оптимальным гранулометрическим составом, соответствующем легкому суглинку со средним содержанием физической глины $24\pm 2\%$, и наиболее высоким содержанием органического вещества. На втором месте по убыванию значений почвенной составляющей (5.66) находится группа почв на покровных суглинках, подстилаемых мореной.

Самым низким значением почвенной составляющей ПЭи (5.10) отличались почвы на озерных супесях за счет своего легкого гранулометрического состава. Зато агрохимическая составляющая ПЭи, обусловленная содержанием Р_{обм}, К_{обм} и кислотностью почв, оказалась у этих почв самой высокой (1.08). Близким значением агрохимической составляющей (1.00) характеризовались почвы на морене, а самое низкое ее значение (0.93) обнаружено у почв на покровных суглинках, подстилаемых мореной.

Таким образом, на примере почв Ярославской области было показано, что за счет литогенной основы могут создаваться различия в почвенной составляющей ПЭи в 1.3 раза и в агрохимической составляющей в 1.2 раза, что значительно повлияет на оценку балла почвенного бонитета.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-05243.

УДК 631.42

КАДАСТРОВАЯ СТОИМОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ РОССИИ

Сапожников П.М.¹, Шехтер К.П.¹, Данилова Н.И.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail sap-petr@eandex.ru;

²Ассоциация «Русское общество оценщиков», Москва, nadya01091998@mail.ru

Правовой режим земель сельскохозяйственного назначения имеет отличительные особенности, среди которых выделяют обеспечение почвенного плодородия, предотвращение сокращения их площадей и защиту земель от негативных внешних воздействий. Правильность ведения кадастрового учета сельскохозяйственных угодий и точность знаний об их кадастровой оценке образуют свод сведений системы землепользования, необходимый для принятия решений по повышению ее эффективности на всех уровнях управления. Основываясь на этих принципиальных положениях государство в числе первоочередных мер должно обеспечить проведение полной и объективной кадастровой оценки сельскохозяйственных угодий. Область применения результатов кадастровой оценки не ограничивается лишь налогообложением – кадастровая стоимость применяется при аренде и исчислении выкупной цены недвижимости, административных штрафов и т.д. Результаты кадастровой оценки земель используются в качестве инструмента управления и регулирования рынка недвижимости. Кроме того, всесторонняя оценка качества почвы сельскохозяйственных угодий необходима для рационального сельскохозяйственного производства и экологической защиты почв.

Согласно действующим на данный момент Методическим указаниям о государственной кадастровой оценке, утвержденным Приказом Росреестра от 04.08.2021 № П/0336, в процессе проведения кадастровой оценки сельскохозяйственных земель среди ценообразующих факторов выделяют плодородие почвы и агроклиматические параметры. Методические указания рекомендуют проводить кадастровую оценку земель сельскохозяйственного назначения на основе Единого государственного реестра почвенных ресурсов, расчета нормативной урожайности и технологических (нормативных) затрат. Необходимо отметить, что показатели нормативной урожайности сельскохозяйственных культур включены в национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 70229-2022

«Почвы. Показатели качества почв». Исходные характеристики почв базируются на материалах крупномасштабных почвенных исследований, проведенных во всех субъектах Российской Федерации в середине 90-х годов прошлого века. От характеристики качества почв (содержания гумуса, мощности гумусового горизонта, содержания физической глины, негативных факторов, влияющих на плодородие почв) зависит величина кадастровой стоимости, налог на сельскохозяйственные угодья, который является местным налогом и остается в субъекте Российской Федерации. Почвы, находящиеся в различных агроклиматических условиях и элементах ландшафта, дифференцируются по кадастровой стоимости. Изучение характера такой изменчивости является весьма актуальной задачей, имеющей практическую (экономическую) значимость.

Сельскохозяйственные угодья Российской Федерации резко дифференцированы по кадастровой стоимости. Важным параметром, определяющим величину кадастровой стоимости земель, является величина агроклиматического потенциала. Данный показатель характеризует влияние климатических условий на урожайность сельскохозяйственных культур и включает в себя следующие показатели: сумма активных температур больше десяти градусов, коэффициент увлажнения и коэффициент континентальности. Кадастровая стоимость агроландшафтов арктической зоны и северных территорий России (где минимальны показатели агроклиматического потенциала) рассчитывается по сенокосам и пастбищам, исходя из нормативной урожайности однолетних и многолетних трав. Наибольшие значения кадастровой стоимости в Арктической зоне Европейской территории России характерны для дерново-карбонатных и аллювиальных почв (3.0-3.3 руб/м²), а для Сибири и Дальнего Востока - для бурых лесных и аллювиальных почв (5.0-6.6 руб/м²). Для гумидных территорий России медианное значение кадастровой стоимости почв увеличивается в ряду: дерново-карбонатные > темно-серые лесные > серые лесные > аллювиальные > светло-серые лесные > дерново-подзолистые > торфяные > подзолистые. Для этих территорий отмечено снижение показателей кадастровой стоимости с усилением признаков эродированности и гидроморфизма. Обусловлено это невозможностью выращивания высокодоходных пропашных культур, а также связано со снижением содержания гумуса и мощности гумусового горизонта. Для почв на тяжелосуглинистых и глинистых отложениях кадастровая стоимость превышает в 1.4-1.7 раза кадастровую стоимость почв на легких суглинках. Степень каменистости также существенно снижает показатели кадастровой стоимости.

В полуаридных территориях медианные значения кадастровой стоимости располагаются в следующей последовательности: солонцы > светло-каштановые > каштановые > темно-каштановые > аллювиальные дерновые насыщенные > аллювиальные луговые насыщенные > черноземы южные > черноземы обыкновенные > черноземы типичные > черноземы выщелоченные. Максимальные значения кадастровой стоимости прекавказских черноземов Азово-Кубанской равнины характерны для выщелоченных черноземов Краснодарского края, максимальные значения достигают 42 руб./м² (медианное значение соответствует 27.4 руб/м²). Для Центрально-Черноземной зоны наибольшие значения кадастровой стоимости отмечены для выщелоченных черноземов Белгородской области, максимальные значения соответствуют 22.0 руб/м², а медианное значение составляет 18.65 руб/м².

Дифференциация кадастровой стоимости почв аридных территорий обусловлена влиянием негативных факторов и различиями в показателях агроклиматического потенциала. Кадастровая стоимость для Астраханской области варьирует от 0.1 руб/м² (солонцы каштановые) до 3.9 руб/м² (аллювиальные дерновые насыщенные), а показатели кадастровой стоимости Калмыкии варьируют от 0.3 руб/м² (для бурых полупустынных почв) до 3.9 руб/м² (для черноземов обыкновенных). Наибольшее влияние на дифференциацию кадастровой стоимости в этих регионах оказывают осолонцевание и засоление.

В полуаридных условиях при кадастровой оценке факторы и механизмы, снижающие плодородие земель, в том числе водная и ветровая эрозия, деградация гумусного состояния

почв, переувлажнение, технологическая слитость, засоление, осолонцевание, каменистость, уклон местности и другие, то есть факторы, которые проявляются прежде всего в потере устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, могут снижать кадастровую стоимость от 25-50% в случае эрозионных процессов, каменистости, переувлажнения и невысоких уровней засоления; до >70-80% для сильно-засоленных и сильно-солонцеватых почв, как наиболее выраженных форм устойчивой (необратимой) деградации почв агроландшафтов. Работа выполнена по теме государственного задания номер ЦИТИС: 121040800146-3 «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

УДК 631.153

АГРОРЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ. ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Суханов П.А., Комаров А.А.

ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург,

pavel_suhanov@mail.ru

В 2020 году в стране была принята доктрина продовольственной безопасности, утвержденная Указом Президента от 21.01 2020 г. Этот документ, безусловно, имеет стратегическую значимость. Без обеспечения продовольственной безопасности не может быть достигнута общая безопасность государства и его народов. На чем основывается продовольственная безопасность? Доктрина дает четкое обоснование. Продовольственная безопасность основывается (базируется) на продовольственной независимости. А что такое продовольственная независимость? Каковы ее критерии и индикаторы? Индикаторы просты и понятны, это самообеспечение жизненно важными продуктами и сырьем для их получения на 85-95 %. Сельское хозяйство и агропромышленный комплекс России в целом показывают в последние годы хорошие результаты. Зерно стало значимой экспортной продукцией, соизмеримой с экспортом вооружения. Казалось бы, все идет хорошо и нет причин для беспокойств. Однако, самый общий анализ ситуации в развитии сельского хозяйства вскрывает определенные причины (поводы) для беспокойств. Вот некоторые из них, на наш взгляд. 1. Основное производство сельскохозяйственной продукции сосредоточено в южных (степных, лесостепных) и в центральных регионах. 2. Очень большая нагрузка легла на земли с черноземными почвами, черноземы стали деградировать, закисляться. 3. В то же время во многих регионах Нечерноземья в сельскохозяйственном производстве используется не более 30-50% земель сельскохозяйственных угодий. Неиспользуемые угодья зарастают, почвы деградируют. Очевидна опасность, что черноземы из-за интенсивной эксплуатации утратят свою продуктивную силу, а сельскохозяйственные угодья в Нечерноземье могут утратиться как таковые. Отмеченные негативные явления необходимо рассматривать как реальную угрозу обеспечения продовольственной безопасности страны в будущем. Предотвращение такой угрозы может быть осуществлено на основе изучения, научно обоснованной оценки и планомерного наращивания агоресурсного потенциала (далее АРП) во всех регионах страны в соответствии с концепцией, разработанной нами (Суханов П.А. Научные основы оценки и управления агоресурсным потенциалом региона (на примере Ленинградской области). Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. 2013). Концепция АРП включает определение понятия АРП, структурный каркас, функциональную организацию, подходы к оценке и управлению. Концепция апробирована на примере региона Ленинградской области. Согласно хорошо известным законам естествознания и экологии главными продуцентами органического вещества являются зеленые растения (продуценты). Именно они, используя энергию солнца и плодородие почв, создают первичное органическое вещество – источник питания и энергии для животных и человека (то есть, консументов). Соответственно этому, именно возможность (способность) регионов, других территорий или страны в целом производить

определенный объем растениеводческой продукции следует рассматривать как их АРП. Разнообразие видов растениеводческой продукции чрезвычайно широко. Производимые (или перспективные) объемы различных видов растениеводческой продукции при оценке АРП должны быть переведены в сопоставимые единицы. Такими сопоставимыми единицами являются зерновые, кормовые или энергетические. Поскольку рассматриваются вопросы обеспечения продовольственной безопасности, агроресурсный потенциал логично оценивать в зерновых единицах («хлеб всему голова»). С учетом изложенного было сформулировано следующее определение: Агроресурсный потенциал – это интегральная продуктивность всех сельскохозяйственных угодий (земель) в сопоставимых зерновых единицах, которая достигнута или может быть получена в конкретных природно-климатических условиях, на определенной площади земель с присущими им почвами, при конкретных ресурсах обеспечения и возможностях их реализации. Исходя из сформулированного определения, АРП является интегральной функцией пяти основных групп ресурсов (факторов).

1. Агробиологические ресурсы.
2. Агроклиматические ресурсы.
3. Почвенно-земельные ресурсы.
4. Ресурсы обеспечения и управления.
5. Условия и возможности реализации.

Для засушливых регионов добавляются водные ресурсы. Первые три группы факторов образуют собственно продуцирующую систему (агрэкосистему). Следующие группы факторов составляют систему обеспечения, управления и реализации, таблица 1.

Таблица 1. Структурный каркас агроресурсного потенциала

№	Группа ресурсов	Виды ресурсов
Продуцирующая система (агрэкосистема)		
1	Агробиологические ресурсы	Виды, сорта с.-х. культур. Качество семян и посадочного материала
2	Агроклиматические ресурсы	ФАР, тепло- и влагообеспеченность, продолжительность вегетационного периода
3	Почвенно-земельные ресурсы	Площадь с.-х. угодий и земель, пригодных для земледельческого освоения. Состав почвенного покрова, плодородие почв
Система обеспечения, управления и реализации		
4	Ресурсы обеспечения и управления	Финансовые, материально-технические, организационно-хозяйственные, технологические, кадровые, научные, информационные, сервисные и другие ресурсы, которые прямо или опосредованно могут влиять на производительную способность базовых факторов
5	Условия и возможности реализации	Характер общегосударственной политики, социально-экономические и рыночные условия, экологическая обстановка и географическое положение
6	Водные ресурсы для районов с дефицитом влаги	Наличие запасов влаги, пригодной для обеспечения растениеводства (земледелия)

В настоящее время в Ленинградской области из 617 тыс. га сельхозугодий используется не более половины площадей. Согласно нашим исследованиям и оценке достигнутый уровень АРП в последние годы составлял в среднем 400 тыс. тонн зерновых единиц. Соответственно только при вводе в оборот всех сельхозугодий АРП может быть удвоен. При использовании

интенсивных технологий с элементами точного земледелия и оперативным управлением производственным процессом АРП может быть увеличен еще в 2,0-2,5 раза и достигать 1,6-2,0 млн. тонн зерновых единиц в год. Очевидно, что в большинстве регионов Нечерноземья ситуация аналогичная. Проведение оценки АРП в регионах на земельной территории страны и обобщение результатов в целом по России представляется весьма актуальным для планирования обеспечения продовольственной безопасности в будущем.

УДК 631.153.3(571.51)

ОЦЕНКА ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

Шпедт А.А.^{1,2}, Трубников Ю.Н.¹, Злотникова В.В.¹

¹ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск, zlotnikova.v.v@mail.ru;

²Сибирский федеральный университет, Красноярск

Для устранения эколого-экономических противоречий в аграрной сфере, сохранения биоразнообразия природной среды и экологического равновесия, а также достижения высокой продуктивности сельскохозяйственного производства целесообразен перевод земледелия на адаптивно-ландшафтную основу с целью достижения устойчивого развития сельских территорий. Одной из важных составляющих проектирования экологически сбалансированных агроландшафтов и разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия является оценка природно-ресурсного потенциала (ПРП) агроландшафтов, рассматривающая ландшафт через призму агроэкологических и агроэкономических условий для ведения сельскохозяйственной деятельности.

ПРП складывается из оценки нескольких, фундаментальных компонентов ландшафта, оцененных с позиции благоприятности для с.-х. производства. В качестве таковых используются: климатический потенциал (влагообеспеченность, теплообеспеченность), почвенно-агрохимический потенциал (мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, гранулометрический состав, рН солевой или водной суспензии, сумма поглощенных оснований, содержание подвижного фосфора, содержание обменного калия, почвообразующие породы, степень деградации земель, уровень химического загрязнения), положение в рельефе (крутизна, экспозиция склонов). На основе оценочных таблиц, показателям присваиваются баллы. Для расчета результирующего значения ПРП используется информационно-логический анализ и уравнения, где оцениваемые показатели оказывают наибольшее влияние на результат, если стоят в начале формулы. Например, для почв таежной и лесостепной зоны велико значение теплообеспеченности (Т), поэтому уравнение имеет вид:

$$\text{ПРП} = T \vee (O \vee П), (1)$$

где ПРП – природно-ресурсный потенциал, балл; Т – балл за сумму температур выше 10 °С; О – балл за годовую сумму осадков; П – балл за тип и подтип почвы; \vee – знак нелинейного логического сложения.

Для почвы, расположенной в степной и сухостепной зоне, в дефиците будут осадки, поэтому уравнение принимает вид:

$$\text{ПРП} = O \vee (T \vee П), (2)$$

Поправочный коэффициент на мезорельеф будет отличаться в зависимости от региона и природно-климатических зон. Уравнение, учитывающее влияние мезорельефа, для таежной и лесостепной зоны, применительно к Красноярскому краю, будет выглядеть следующим образом:

$$\text{ПРП} = T \vee (O \vee (П \times Р)), (3)$$

где: Р – поправочный коэффициент на рельеф; \times – знак умножения.

В результате нелинейного логического сложения частных потенциалов, оценку ПРП выполняют по следующей градации (балл): 1—20 – низкий; 21—40 – пониженный; 41—60 – средний; 61—80 – повышенный; 81—100 – высокий.

Оценка ПРП агроландшафтов характеризует агроэкологические показатели, в совокупности которых можно определить направление, возможности, риски, ограничения и характер использования с.-х. территорий. В таблице приведены баллы ПРП для природных округов, зон и подзон Красноярского края. Средневзвешенный ПРП земледельческой территории региона, варьируется от 38,0 баллов в подтаежной зоне до 56,4 баллов в типичной степи Южно-Минусинского природного округа (табл.). В пределах лесостепной зоны наибольшим ПРП обладает северная подзона Южно-Минусинского природного округа.

Таблица - Средневзвешенный ПРП для природных округов, зон и подзон Красноярского края

Природная зона	Природный округ	Подзона	Площадь, тыс. га	Средневзвешенный ПРП			Попр. коэф.
Лесостепь	Канский	южная	73	50,7	45,4	45,0	0,89
		типичная	920	46,5			0,97
		северная	540	42,9			1,05
	Красноярский	южная	85	50,7	46,3		0,89
		типичная	302	46,5			0,97
		северная	390	45,2			1,00
	Ачинско-Боготольский	северная	321	47,4	47,4		0,95
	Назаровский	типичная	755	49,4	49,4		0,91
	Чулымско-Енисейский	южная	154	47,5	47,8		0,95
		типичная	338	47,9			0,94
	Южно-Минусинский	южная	204	53,3	54,3		0,84
		типичная	584	53,8			0,84
		северная	472	55,4			0,81
Степь	Южно-Минусинский	типичная	144	56,4	56,4		0,80
Подтайга	Все округа	равнинная	2878	38,0	38,0		1,18

Для земледелия на территории региона наиболее благоприятные условия складываются в типичной степи, где ПРП равен 56,4 балла. Также высоким ПРП обладает лесостепь Южно-Минусинского округа – 54,3 балла. Данные значения обуславливаются наличием почв со средним и повышенным плодородием и благоприятными климатическими условиями.

Согласно предлагаемой градации, средневзвешенный ПРП подтайги пониженный.

Средневзвешенные значения ПРП природных округов лесостепной и степной зон относятся к среднему значению. Значения средневзвешенных ПРП для северных округов (Канский, Красноярский, Ачинско-Боготольский) имеют схожую тенденцию – происходит увеличение по подзонам с севера на юг. В Южно-Минусинском природном округе средневзвешенный ПРП увеличивается в обратном направлении.

Перераспределение государственных субсидий для конкретных землепользований сельскохозяйственных товаропроизводителей рекомендуется выполнять посредством поправочных коэффициентов. Логика здесь проста, чем выше итоговый ПРП для конкретного землепользования, тем меньше поправочный коэффициент, применяемый к сумме государственной субсидии и наоборот, чем ниже ПРП, тем выше поправочный коэффициент.

Например, средневзвешенный для Красноярского края ПРП равен 45 баллам, тогда поправочные коэффициенты к сумме государственной поддержки будут колебаться в

пределах земледельческой части региона по природным подзонам от 0,80 до 1,18 или на 38%. Очевидно, что в наиболее благоприятных районах коэффициент будет меньше, а в менее – больше. Предлагаемая методика предполагает применение дифференцированного расчёта баллов ПРП в зависимости от агроэкологических и экономических условий конкретного хозяйства. Этот подход предлагается использовать при расчёте государственных субсидий для конкретных землепользований. В связи с тем, что почвенно-климатические условия в хозяйствах региона будут существенно различаться, то пропорционально этим изменениям будут значимо варьировать и поправочные коэффициенты.

Выполненная оценка ПРП для природных округов, подзон и зон Красноярского края является основой для более объективного распределения государственных субсидий, определения путей оптимизации аграрного природопользования, активизации рынка сельскохозяйственной продукции и роста рентабельности агросферы.

(I) ПОДКОМИССИЯ ПО ЛЕСНОМУ ПОЧВОВЕДЕНИЮ

УДК 574 (075.8):631.4

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ ТИПИЧНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА

Алаева Л.А., Девятова Т.А., Негрובה Е.А.,

Воронежский государственный университет, Воронеж, e-mail: liliya-250477@yandex.ru,
devyatova.eco@gmail.com; elena-negrobova@yandex.ru

Воронежская область (ВО) в административном отношении входит в состав Центрального Федерального округа РФ и занимает центральное положение в Центрально-Черноземном регионе (ЦЧР). Согласно природной зональности, ВО расположена на стыке лесостепной и степной зон. Общая облесенность области составляет 8,2%.

В пределах выделенных зон и подзон распространение почв подчинено географическим закономерностям регионального порядка (высотная и экспозиционная дифференциация склонов, неоднородность гидрологических условий, почвообразующих пород и растительных сообществ). Разнообразие биотических и абиотических факторов привела к формированию сложного почвенного покрова Воронежской области. Фоновым компонентом выступают черноземы, но они практически полностью вовлечены в сельскохозяйственное использование. Лесные почвы сформировались под различными древесными сообществами на разных ландшафтных уровнях. Для сравнительного анализа были выбраны наиболее крупные таксономические уровни почвенного разнообразия (тип и подтип) под различными растительными сообществами по катене поймы – надпойменные террасы - водораздел (табл. 1). Наименования типов почв и строение их генетических профилей осуществлялось согласно классификации и диагностике почв России 2004 г.

Таблица 1. Разнообразие лесных почв в пределах исследуемой территории

Почва	Тип местности, абсолютная	Строение профиля	Фитоценоз
Аллювиальная перегнойно-глеевая	Притеррасье	H-G-CG	Ольшанник папоротниковый
Аллювиальная серогумусовая (дерновая) глееватая	Центральная пойма	O-AY-Cg	Дубняк ландышевый
Дерново-элювозем языковатый	IV НПТ р. Воронеж	O-AY-EL-Cy-C	Дубрава снытевая
Серая типичная глубокоэлювиальная	Водораздел	O-AY-AEL- BEL- BT-Cca	Клено-липо-дубняк снытевый
		O-AY-AEL- BEL- BT _{ca} -C _{ca}	Ясене-липо-дубняк волосисто-осоковый
Темно-серая типичная		O-AU-AUe- BEL- BT-C	Ясене-клено-дубняк редкопокровный
		O-AU-AUe-BEL- BT _{ca} -C _{ca}	Дубняк снытевый

В ходе естественной эволюции формируются почвы со специфическим морфо-генетическим профилем, строение которого отражает всю совокупность взаимного действия факторов почвообразования. Участие биологического фактора особенно ярко проявляется в верхней части профиля лесных почв, строение которого напрямую зависит от растительных сообществ, произрастающих на них. Так, под древесно-кустарниковой растительностью

формируется напочвенный органогенный горизонт О - лесная подстилка разной мощности, но может отсутствовать дерновый горизонт, если в травянистом покрове небольшое участие принимают злаки (например, под дубняком ландышевым).

Мощность гумусового горизонта так же в большой мере обусловлена биологическим фактором, так как именно ежегодно отмирающие корни травянистой растительности, проникающие на глубину 50 см и более. обеспечивают бесперебойное поступление «строительного материала» для будущего гумуса.

Таким образом, каждому ландшафтному уровню соответствуют свое специфическое сочетание растительное сообщество - тип (подтип, разновидность) почвы. Поэтому повышение эффективности решения проблемы сохранения, поддержания и устойчивого функционирования биоразнообразия в условиях нарастающего антропогенного влияния возможно только на основе комплексного подхода, т.е. сохранение структуры экосистемы в целом, включая и почву, как базовый компонент любой наземной экосистемы.

УДК 631.4

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛКАХ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Александрова А.Б., Кулагина В.И., Иванов Д.В.,

Маланин В.В., Марасов А.А., Солодникова О.М.

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, adabl@mail.ru

Лесные подстилки являются основным ресурсом, из которого образуется почва, и играют важную роль в накоплении запасов углерода в экосистемах.

Наиболее информативными в системе наблюдений за формированием запасов углерода в компонентах лесных биогеоценозов являются данные, полученные по результатам исследования на эталонных участках, находящихся в условиях минимальной антропогенной нагрузки, в первую очередь на особо охраняемых природных территориях.

Исследования проводились в 2022-2023 годах на территории Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ). Заповедник находится в Республике Татарстан (РТ), был основан в 1960 году, состоит из двух участков – Раифского и Саралинского.

Раифский участок заповедника площадью 55897 га находится в Зеленодольском районе РТ и представляет собой южнотаежные леса, в которых в направлении с севера на юг сменяются следующие формации: типичные сосняки с елью – сосново-широколиственные леса с елью – елово-широколиственные леса – липово-дубовые леса (Рогова и др., 2002)

Саралинский участок заповедника площадью 5480 га, расположен в Лаишевском районе РТ в южной части Волжско-Камско-Мешинского междуречья в растительных формациях которых, доминируют лиственные и хвойные фитоценозы.

Объектами исследования в каждом из участков ВКГПБЗ были шесть разновозрастных биогеоценозов с полнотой древостоя по данным лесной таксации 0,7: сосняки перестойные; липняки перестойные; березняки перестойные; сосняки средневозрастные; липняки средневозрастные; березняки средневозрастные. В Саралинском участке заповедника помимо шести вышеперечисленных биогеоценозов в качестве пробной площадки был выбран седьмой участок – биогеоценоз в составе древесных пород, которого доминировала осина. Отбор проб лесной подстилки на пробных площадках проводился при помощи рамки 20×20 см в 24-кратной повторности в приствольной и межкрупной зонах деревьев. Всего было отобрано 144 пробы в Раифском и 168 проб в Саралинском участках заповедника.

Расчет запаса углерода в пуле подстилки проводили с учетом среднего содержания углерода в подстилке путем умножения сухого веса на коэффициент 0,4 (Методические ..., 2017).

Исследования показали, что содержание запасов углерода в лесных подстилках ВКГПБЗ варьировали в широких пределах и составили от 1,1 до 40,1 т/га. Максимальные запасы

углерода были диагностированы в лесных подстилках хвойных биогеоценозов и составили в среднем в перестойных хвойных фитоценозах 15,2 и 10,8 т/га в Раифском и Саралинском участках заповедника соответственно. Накопление запасов углерода в сосняках средневозрастных составило в среднем 9,6 в Раифском и 14,3 т/га в Саралинском участках. Минимальные запасы углерода отмечались в лесных подстилках лиственных фитоценозов ВКГПБЗ и не превышали 5,1 т/га в Раифском, 4,3 т/га в Саралинском участках. Сравнение фактических данных запасов углерода в лесных подстилках преобладающих пород исследованных участков ВКГПБЗ с усредненными данными, содержащимися в «Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (Методические ..., 2017) выявило различия в их накоплении. В зависимости от преобладающей древесной породы различия между сравниваемыми значениями достигали от 0.6 до 6.2 т/га. При этом максимальные расхождения между натурными и расчетными данными запасов углерода отмечались в лиственных фитоценозах Саралинского участка ВКГПБЗ. Расчеты показали, что в подстилке сосняков ВКГПБЗ сосредоточено в среднем на 30-39% больше углерода, чем в подстилках сосняков южно-таежной зоны Европейско-Уральского макрорегиона (Методические ..., 2017). Напротив, запасы углерода подстилки в лиственных лесах Раифского участка заповедника оказались на 30–35%, а в Саралинском участке –35-55% ниже, чем в таковых южно-таежной зоны Европейско-Уральского макрорегиона.

УДК 630*231.32+630.43:630.221

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ БИОУДОБРЕНИЙ ПОСЛЕ РУБОК И ПОЖАРОВ В СОСНЯКАХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ*

Антонов Г.И., Гродницкая И.Д., Полякова Г.Г.

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия,

e-mail: egoan@yandex.ru

Сохранение целостности лесов при рубках и пожарах предполагает разработку различных методов содействия естественному лесовозобновлению в них. Одним из таких методов является создание экологически чистых и безопасных биоудобрений на основе отходов лесопромышленного комплекса. В настоящее время проводятся исследование возможности использования биоудобрения (опилочно-почвенный субстрат с микопродуктом +мочевина) для стимуляции почвенного плодородия на участках рубок в Погорельском бору Красноярской лесостепи. Биоудобрение представляет собой опилочно-почвенную смесь, содержащую микродозы различных азотных удобрений, делигнифицируемую грибом-базидиомицетом *Trametes versicolor* (L.) Lloyd.

Интенсивность рубки по запасу в сосняке разнотравно-зеленомошном составила 29 %. Через 5 лет после рубки на технологических участках – пасеке и волоке были заложены по 3 пробных площади (Пасека, Волок, Фон) в виде прямоугольников (лент) размером 2х6 м. Две контрольные ленты на пасеке и волоке оставлены без изменений. В верхние органические горизонты пасеки и волока наносили опилочно-почвенный субстрат с микопродуктом и удобрением (ОПСМ+мочевина) порядка 5 кг на 1 м². Также были заложены подобные 6 экспериментальных площадок в нетронутом рубкой сосняке, которые служат фоном. Каждую из четырех лент подразделяли на 48 ячеек размером 0.5 м на 0.5 м. Еще через год, 7 мая 2022 года в районе исследований произошел низовой пожар, и биоудобрение было внесено повторно в начале сезона. В каждой ячейке отдельно учитывали количество всходов и самосева.

Количество всходов в июне 2021 г. в опытном варианте было существенно выше, чем в контроле. Такая же тенденция сохранилась и в сентябре 2021 г. К тому же, подрост сосны по Волокам было заметно больше, чем всходов, и это говорит о том, что всходы сосны успешно переходят в категорию подроста после применения ОПСМ+М. Однако при пожаре

2022 г. весь самосев сгорел, и термическое повреждение сформированной хвои прошлых лет привело к нарушению основного и вторичного метаболизма у сосен. Несмотря на то, что пожар случился до начала фазы вегетации сосны (до распускания почек), побеги текущего года были ущербными (табл. 1).

После закладки новых участков с применением ОПСМ+М в июле и сентябре 2022 г. были зарегистрированы появившиеся всходы сосны, как на опытных, так и на контрольных участках. Обращает на себя внимание, что после пожара всхожесть на Волоке и Пасеке перестала резко различаться. Большое количество молодых побегов было зарегистрировано, как опад на лесной подстилке, так как они были сломаны ветром. Хвоя на этих побегах имела бледно-зеленый цвет, что говорит о нарушении формирования хлорофилла и доказывает нарушение основного и вторичного метаболизма сосен, поврежденных пожаром. Это и обусловило истощение деревьев, снижение резервов основного и вторичного метаболизма. Резкое снижение густоты всходов и сеянцев в год пожара, отмеченное на участках "Волок" и "Пасека" в течение всего сезона вегетации 2022 г. явилось очевидным следствием термического стресса, перенесенного экосистемой, уже прореженной ранее рубками. В отличие от этого, в нетронутых рубками фоновом древостое частичное "прореживание" соснового древостоя пожаром положительно сказалось на густоте сосновых всходов. Так, увеличение густоты всходов было зарегистрировано на участке "Фон" в июле и сентябре 2022 г. В 2023 году было выявлено достоверное стимулирующее действие ОПСМ+М на всхожесть семян сосны, как на Пасеке, так и на Волоке. Отмечено, что на Пасеке количество всходов и самосева в опытном варианте с внесением ОПСМ+м было достоверно больше, чем в контроле ($p < 0.05$), биоудобрение здесь стимулировало естественное лесовозобновление. На Волоке, где деревья были убраны при проведении выборочной рубки, световые условия были более благоприятны для всходов и самосева сосны, что сказалось на увеличении их количества. Это можно объяснить рядом причин: повышением плодородия почвы из-за поступления в нее золы, уничтожением конкурентной растительности, изреживанием крон и повышением освещенности, что важно для светолюбивой породы. Нельзя исключать вероятность повышения качества "послепожарных" семян в связи с мобилизацией ресурсов дерева, ослабленного термическим стрессом, направленной на повышение качества семян.

Таблица 1. Количество самосева сосны на участках выборочных рубок, шт/м² (n=9)

Время учета	Категория самосева	Контроль			Опыт		
		Фон	Пасека	Волок	Фон	Пасека	Волок
2021							
Июнь	Всходы	0	0.1±0.08	0.5±0.2	0.2±0.09	0	2.1±0.5
	Подрост	9.0±1.2	3.5±0.6	43.2±2.9	7.9±1.5	9.8±1.4	33.4±2.8
Сентябрь	Всходы	не измеряли	3.2±0.7	26.7±2.9	не измеряли	6.9±1.1	31.5±2.4
	Подрост	не измеряли	3.1±0.6	32.4±2.5	не измеряли	7.5±1.2	34.7±2.3
2022; после пожара и внесения биоудобрения							
Июль	Всходы	4.75±0.27	1.77±0.13	3.25±0.25	3.42±0.18	3.14±0.15	4.87±0.20
	Подрост	не обнаружено			не обнаружено		
Сентябрь	Всходы	5.14±0.28	2.00±0.16	2.56±0.25	3.52±0.17	4.14±0.21	5.48±0.20
	Подрост	не обнаружено			не обнаружено		
2023; год после пожара и внесения биоудобрения							
Июль	Всходы	119.6±6.49	78.17±4.55	92.44±5.38	162.8±5.76	159.2±7.02	156.6±7.97
	Подрост	8.8±1.10	3.7±0.73	8.0±0.82	5.1±0.70	7.7±1.03	10.0±0.82
Сентябрь	Всходы	80.42±5.10	43.33±7.13	75.12±6.56	67.42±4.07	121.1±8.81	130.3±7.89
	Подрост	9.2±1.00	4.9±0.77	7.5±0.78	4.9±0.73	9.9±1.05	10.5±0.83

Таким образом, внесение биоудобрения (ОПСМ+м) в верхние органогенные горизонты почвы экспериментальных участков (Пасека, Волок, Фон) сосняков Погорельского бора

положительным образом повлияло на увеличение количества всходов и подроста на технологических участках рубки. Возможно, это происходит по причине подщелачивания и сохранения большей влажности почвы в вариантах, где после рубок образовались «окна». Повторное внесение микопродукта после пожара оказало активизирующее воздействие на почвенную микробиоту всех экспериментальных участков, что отразилось в улучшении почвенных лесорастительных условий для прорастания семян сосны. Разработанные сотрудниками лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии ИЛ СО РАН биоудобрения на основе опилок, верхнего плодородного слоя почвы и микопродукта дереворазрушающих базидиомицетов проявляют свою эффективность не только при искусственном лесоразведении, но и способствуют стимуляции естественного лесовозобновления после рубок и пожаров.

*Работа выполнена в рамках базового проекта FWES-2024-0029

УДК 631.412

ВЛИЯНИЕ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА СВОЙСТВА ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ

Ахметова Г.В., Новиков С.Г.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, akhmetovagv@gmail.com

Мозаичность и мелкоконтурность почвенного покрова таежных лесов, варьирование свойств почв во многом определяется гетерогенностью растительного покрова, что наиболее чётко прослеживается в лесной подстилке и верхних минеральных горизонтах почв. Выявление особенностей взаимосвязей в системе – «растение-лесная подстилка-почва» в настоящее время актуальны в связи с тенденциями в изменении климатических показателей и растительного покрова.

Исследования проводились в среднетаежной подзоне республики Карелия, на ООПТ различного уровня охраны – Государственном заповеднике «Кивач» и ландшафтном заказнике «Заозерский». Заложены ряд пробных площадей в ряду ненарушенных сосновых и сосново-еловых местообитаниях, в которых были выделены различные растительные микрогруппировки (РМГ), представляющие наиболее распространенные среднетаежные биогеоценозы. Почвенный покров представлен почвами альфегумусового генезиса – подзолами и подбурами, почвообразующие породы разнообразны – от флювиогляциальных песков до супесчаной морены.

Состав живого напочвенного покрова (ЖНП) изучаемого ряда различен. В наиболее сухих местообитаниях – сосняке брусничном выявлено наименьшее разнообразие и преобладание типичных для данных экосистем бореальных видов растений – лишайники, зеленые мхи и кустарнички (черника и брусника). В сосново-еловом черничнике также в составе ЖНП преобладают зеленые мхи и кустарнички. Для сосняка чернично-кисличного отмечено увеличение доли разнотравья в ряду РМГ: черничная (1%)-чернично-разнотравная (17%)-разнотравная (23%).

Проводился анализ морфологических свойств лесной подстилки – мощность и запасы, изучались физико-химические свойства подстилки и верхних минеральных горизонтов почв – актуальная и обменная кислотность, содержание азота и углерода, подвижных форм макро- и микроэлементов. Лабораторные исследования проведены на базе лаборатории лесного почвоведения Института леса КарНЦ РАН и на научном оборудовании Центра коллективного пользования ФИЦ КарНЦ РАН.

Выявлено что в изучаемых условиях формируются в основном подстилки ферментативного типа, которые могут иметь довольно значительную мощность и запасы. Запасы лесной подстилки в зависимости от РМГ варьируют значительно, наибольшие мощность (до 10 см) и запасы (до 80-90 т/га) выявлены для чернично-зеленомошных и чернично-разнотравно-

зеленомошных РМГ сосняка чернично-кисличного. Меньшие величины запасов выявлены для сосново-елового черничного насаждения. Под разнотравными РМГ в связи с более быстрой минерализацией опада живого напочвенного покрова лесная подстилка имеет небольшую мощность - 0,5-1,5 см, а запасы составляют около 10 т/га.

Значения рН верхних горизонтов почв, включая подстилку, достоверно изменяются в сторону меньшей кислотности при увеличении доли участия разнотравья и снижения участия кустарничков и зеленых мхов. Наблюдается характерная для таежных почв дифференциация почвенного профиля по показателям кислотности – самое низкое значение рН Н₂O (3,4-3,5) выявлено в ферментативных и гумусовых слоях подстилки, в минеральных горизонтах увеличивается до 4,3. В разнотравных РМГ величина рН по горизонтам изменяется слабо.

Концентрация углерода в подстилках также различается, по мере увеличения степени разложения растительных остатков происходит постепенное снижение содержания углерода от 50-60% до 40-30 и менее %. В минеральных горизонтах наблюдается более высокое содержание углерода в почвах, сформированных под чернично-разнотравной и разнотравной растительностью, также выявлено значительное варьирование данного показателя внутри выделенных РМГ.

Для азота наблюдается повышение его содержания во всех слоях подстилки чернично-разнотравных РМГ (до 2%). В минеральных горизонтах наблюдается большая концентрация элемента в условиях чернично-разнотравных и разнотравной РМГ.

Для подвижного фосфора и калия наблюдается достоверное уменьшение их концентрации в почвах под разнотравными РМГ, особенно это характерно для подстилки, в меньшей мере для минеральных горизонтов. Резкое снижение содержания этих важных элементов питания в процессе разложения подстилки говорит о быстром вовлечении их в биологический круговорот. Анализ информации о содержании доступных форм макро- и микроэлементов показал значительную неоднородность даже внутри выделенных РМГ. Выявлены некоторые закономерности влияния особенностей растительности на химический состав верхних горизонтов изучаемых почв. В лесной подстилке варьирование значений большинства изучаемых элементов довольно значительное, обнаружено что наиболее стабильным элементом является кальций, его содержание в подвижной форме составляет около 3000 мг/кг, при этом не наблюдается изменение его количества в зависимости от слоя подстилки как это характерно для калия и марганца. Марганец также резко реагирует на изменение напочвенной растительности, его максимальное содержание (до 200 мг/кг) выявлено в верхнем слое подстилки черничной РМГ, а минимальные в разнотравной (50 мг/кг). Подобная тенденция характерна для цинка и меди. В верхнем минеральном гумусированном горизонте изучаемых почв более высокое содержание марганца и цинка отмечается под разнотравными сообществами

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6) и за счет средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

УДК 631.417.1

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ПИРОГЕНЕЗА

Брянин С.В., Масютина Ю.А.

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, bruanin@gmail.com

Почвы лесных экосистем являются крупнейшим стоком углерода (С) среди экосистем суши. Леса с различной периодичностью подвергаются пожарам, которые помимо негативного влияния на растительность меняют величины пулов С и их структуру. Так в наземной части за счёт уничтожения ряда пулов (подстилка, сухостой) и перехода части С из биомассы в сухостой и валёж структура С стока значительно изменяется. Часть органического вещества (древесина, подстилка, органические остатки и вещества в поверхностных слоях почв) из-за неполного термического окисления преобразуется в пирогенный углерод (РС). Длительность нахождения РС в почвах достигает нескольких тысячелетий, эта форма крайне устойчива к разложению и может подвергаться механическому разрушению до мельчайших частиц и дальнейшему переносу вниз по профилю. Таким образом РС представляет самый долговременный пул С в почвах лесных экосистем с крайне медленным круговоротом по сравнению с органическим С. Учитывая высокую периодичность пожаров в северных лесах в условиях современного изменения климата, в РС может быть переведена значительная часть растительной биомассы. Поэтому изучение содержания РС и его вклада в общий пул органического вещества почв представляется важной задачей для понимания устойчивости почвенного пула С.

Исследования проведены в естественных лиственных лесах в Верхнем Приамурье в предгорье Станового Хребта в зоне распространения бурозёмов и подзолов таёжных. Выбраны леса с различной пирогенной нагрузкой, в которых заложены временные пробные лесоводственные площадки. Всего заложено 23 пробных площадки, на которых отобраны образцы почв цилиндром до глубины 30 см. Повторность отбора – пятикратная, анализировали слои 0-10; 10-20; 20-30 см. отдельно учитывали подстилку в 5 точках на каждой площадке. Содержание органического С определяли методом термокаталитического окисления при температуре 680 °С на анализаторе TOC-L -SSM-5000 A (Shimadzu, Япония). Общее содержание РС определяли по методу KMD, а его высокостабильную фракцию – методом STO375. Взаимосвязь пирогенной нагрузки с величиной и структурой пулов С оценивали по уравнениям линейной регрессии в программной среде RStudio.

Пирогенную нагрузку оценивали по снимкам Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI за временной период с 1986 по 2019 гг. Проводили анализ композитных изображений в синтезе каналов SWIR2-NIR-Green. Для оценки степени пирогенных повреждений анализировали восстановительную динамику нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI ($NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$). Оценивалось время, за которое показатели NDVI вернуться к допожарным значениям (или к значениям соседних участков, не подвергавшихся выгоранию). Таким образом все последствия пожаров были разделены на 3 группы: 0 – несгоревшая территория; 1 – очень низкая степень повреждений (восстановление значений NDVI к средним (или несколько превышающим средние) в том же или следующем вегетационном сезоне); 2 – низкая степень повреждения (восстановление NDVI в течение 2-5 лет); 3 – от средней до высокой тяжести последствий (от 5 до 20 лет, или стабилизация значений NDVI на значительно более низком уровне).

Результаты анализа показали, что степень пирогенного повреждения для большинства площадок (77%) определена как незначительная и низкая, то есть восстановление происходило в течение 5 лет после пожара. Такие сроки восстановления характерны для низкоинтенсивных низовых пожаров. Гораздо реже отмечены пожары, имеющие более серьезные последствия, период восстановления после которых может растягиваться на десятилетия, такие пожары могут иметь характер как высокоинтенсивных низовых, так и верховых, когда уничтожается большая часть растительности, происходит частичная или полная смена породного состава (в том числе замещение леса кустарниковыми или травянистыми сообществами).

Запасы лесных подстилок варьировались в очень широких пределах, различаясь в 10 раз от 2.6 до 26.1 т/га, зависимость от пирогенной нагрузки была значимой, однако нелинейной и

слабо выраженной ($R=0.14$, $p=0.0093$). При этом толщина слоя подстилки не зависела ($p=0.6$) от силы прогорания, а зависела от возраста пожара ($R=0.54$, $p=0.0041$). Содержание С в подстилках изменялось от 29.7 до 42.6 % и слабо зависела ($R=0.28$, $p=0.0025$) от силы прогорания, что вероятно связано с накоплением пирогенных форм углерода в нижнем слое подстилок средне- и сильно нарушенных лесов. Содержание органического С в слое почв 0-30 см изменялось в широких пределах от 35 до 0.4 %, при средних значениях - от 23 % в слое 0-5 см, до 2 % в слое 20-30 см. Минимальные суммарные запасы С почв составили 1.0, а максимальные – 55.5 т/га при среднем 12.8 т/га в слое 0-30 см. Суммарные запасы, равно как и запасы С по отдельным изученным слоям не зависели от степени пирогенного нарушения ($p=0.5$). Отсутствие взаимосвязи интенсивности пожаров и величины общего пула С в верхнем слое почв свидетельствует о низкой интенсивности пожаров, которая не приводит к изменению величины пула С лесов Верхнего Приамурья в условиях сложившейся пирогенной нагрузки за период с 1986 до настоящего времени.

Общее содержание РС в поверхностных слоях до 10 см – достигало 7.7 %, снижалось вниз по профилю до 0.4%. Устойчивые формы РС образуются при высоких температурах горения и, следовательно, более устойчивы к разрушению, считается, что именно они сохраняются в почвах до нескольких тысячелетий. Содержание таких форм изменялось в пределах 1.8-0.05 %, и было максимальным в поверхностных слоях. Содержание обеих форм РС незначительно возрастала с увеличением степени нарушенности территории пожарами ($R=0.18$, $p=0.004$).

Рассматривая участие РС в структуре общих запасов С отметим, что их максимальный вклад в запасы С отмечается в слое подстилки – до 50%, при этом отсутствует какая-либо отчётливая зависимость со степенью пирогенного повреждения лесов. В минеральных слоях почв с глубины 10 см доля РС на всех 23 площадках достигает 25%. Учитывая увеличение абсолютных значений запасов С в почвах по сравнению с подстилками, этот вклад представляется весьма существенным.

Таким образом на территории Верхнего Приамурья преобладают низкоинтенсивные низовые пожары с коротким периодом повторяемости и последующего восстановления. Они не наносят значительного ущерба как лесной растительности, так и не изменяют величину пула С почв этих лесов. Основному воздействию подвергается лесная подстилка, накопление которой зависит от давности пожара, но не от его силы. В структуре С пула изученных почв преобладают органические формы С, однако доля участия пирогенных форм достигает половины запасов поверхностных горизонтах, а с глубиной снижается до четверти.

Результаты показали, что не весь С, определяемый при анализе почв, можно следует считать органическим. Пирогенные формы могут задерживаться в почвах до 11 тыс. лет, не вовлекаясь в биологические процессы и не подвергаясь разложению. Наши результаты показывают, что значительная часть почвенного С в периодически прогорающих лесах Верхнего Приамурья представлена пирогенными формами, что может иметь большое значение при оценке и моделировании углеродного цикла этих лесов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00346, <https://rscf.ru/project/23-27-00346/>

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПОСТУПЛЕНИЕ РАСТВОРЕННОГО УГЛЕРОДА С АТМОСФЕРНЫМИ ВЫПАДЕНИЯМИ И ВЫНОС С ПОЧВЕННЫМИ ВОДАМИ НА ЗАБРОШЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ
Гичан Д.В., Тебенькова Д.Н.

ЦЭПЛ РАН, Москва, e-mail; Dmitriigichan@yandex.ru

Лесная растительность оказывают значительное влияние на потоки растворенного органического углерода (dissolved organic carbon - DOC), воздействуя как на миграцию

поступающих атмосферных выпадений, так и на химический состав. (Лукина, Никонов, 1998) К основным механизмам влияния древесной растительности на потоки DOC можно отнести: 1) увеличение концентраций DOC в атмосферных выпадениях при выщелачивании веществ с поверхности органических растений, перемешивание атмосферных с транспирационными водами, а также задержание осадков кронами деревьев 2) обогащение подкроновых и пристволовых вод при прохождении через горизонт подстилки и перехват части объема поступающих вод 3) изменение объемов и концентраций DOC в почвенных водах под воздействием корневых систем растений за счет выделения корневых экссудатов и поглощения почвенной влаги.

Биометрические и видовые характеристики древостоев также оказывают значимое влияние на концентрации и потоки DOC. Принято считать, что обогащение атмосферных выпадений DOC в хвойных лесах выше по сравнению с лиственными, как на уровне крон деревьев, так и при прохождении через горизонты подстилки. Густая сомкнутость полога способствует вымыванию DOC с поверхности крон деревьев, но при этом может снижать объемы поступления подкроновых выпадений. Отмечается, что влияния растений на механизмы поступления и миграции веществ в лесных экосистемах изучены недостаточно (Кузнецова, 2022).

Физико-химические характеристики почв и биометрические параметры лесов, формирующихся на бывших сельскохозяйственных землях, отличаются от аналогичных территорий, на которых ведется лесное хозяйство (Яковлев, 2024). Это в свою очередь может влиять на потоки DOC. Такие оценки на заброшенных сельскохозяйственных землях прежде не проводились, что подчеркивает актуальность настоящей работы.

Цель исследования – оценить влияние древесной растительности на поступление растворенного углерода с атмосферными выпадениями и вынос с почвенными водами на заброшенных сельскохозяйственных землях южной тайги.

Объекты исследования - три типа биогеоценоза: березняк злаковый (Б. зл.), березняк ольхово-ивовый высокотравный (Б. Ол.-Ив. выс.), луг разнотравно-злаковый (Л. р.-зл.), расположенные на заброшенной пашне Череповецкого района Вологодской области. Объект исследования относится к подзоне южной тайги. Тип почв объекта - агродерновоподзолистые остаточные карбонатные (Шишов и др., 2004) суглинистые.

Заложено 10 пробных площадей в Б. зл., 5 пробных площадей в Б. Ол.-Ив. выс. и 3 пробных площади на Л. р.-зл. На каждой пробной площади устанавливали по одному осадкоприемнику и гравитационному лизиметру конструкции Джона Дерома (Лукина, Никонов, 1998). Отборы образцов в период с мая по декабрь проводились ежемесячно. В зимний период – период покоя (с января по апрель), проводили отбор образцов снега однократно, в марте, в период максимального снегонакопления. Анализируемый период с сентября 2022г. по сентябрь 2023г. Содержание DOC определяли методом термokatалитического окисления с бездисперсионной ИК-регистрацией на анализаторе общего углерода/азота TOC-VCPN. Для проверки значимости различий среднего использован непараметрический критерий Манна-Уитни, для оценки корреляции использовали критерий Пирсона, анализ данных осуществляли в пакете R.

При оценке вклада растворенного органического углерода и растворенного неорганического углерода, не было выявлено статистических значимых различий как по временной динамике, так и при сравнении соотношения в атмосферных выпадениях и почвенных водах, в среднем соотношение составляет $71:29 \pm 2\%$. Для почвенных вод соотношение составляет $73:27 \pm 5\%$, для атмосферных выпадений $69:31 \pm 2\%$.

Концентрации и потоки DOC с атмосферными выпадениями в березовых сообществах в 5 раз больше ($p < 0,05$), чем в Л. р.-зл. Концентрации и потоки DOC в период покоя не различались между БГЦ, что еще раз подчеркивает влияние лесной растительности на обогащение DOC атмосферных выпадений. Важно отметить что наблюдается резкое увеличение концентраций DOC, в атмосферных выпадениях лесных сообществ в начале

вегетационного периода, концентрации DOC в 6 раз выше среднего. Что может быть обусловлено влиянием летучих органических соединений.

Концентрации DOC в почвенных водах статистически не различались между БГЦ. При этом в Б. зл. наблюдается значительно меньший вынос DOC с почвенными водами по сравнению с остальными БГЦ, в 4,6 и 9,8 раз меньше ($p < 0,05$), чем в Б. Ол.-Ив. выс. и Л. р.зл. соответственно. Что объясняется высокой всасывающей способностью молодых березовых сообществ и их высокой полнотой.

С точки зрения баланса БГЦ (секвестрации или вымывания DOC в горизонтах LF, АУ и АЕЛ) лесные сообщества характеризуются преобладанием поступления DOC с атмосферными осадками по сравнению с выносом с почвенными водами, что говорит о закреплении DOC в почве или поглощении корнями растений в горизонтах LF, АУ и АЕЛ, в то время как на Л. р.-зл. наблюдается вымывание DOC из 30-см слоя почвы.

Корреляционный анализ поступления DOC с атмосферными выпадениями и биометрическими показателями древостоя выявил увеличения поступления DOC по мере развития древостоев. Поступление DOC положительно коррелировало со средней высотой, средним диаметром и запасом древостоя, коэффициент корреляции: 0,68 ($p < 0,01$), 0,43 ($p < 0,05$), и 0,47 ($p < 0,01$) соответственно. При этом наблюдается обратная корреляция поступления DOC с плотностью древостоя $r = -0,57$ ($p < 0,01$), что обусловлено самоизреживанием древостоев по мере развития лесов.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории ЦЭПЛ РАН «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (регистрационный номер 12211500023-6) при финансовой поддержке АО Апатит.

ЛИТЕРАТУРА

Кузнецова А. И. Горнов А. В., Горнова М. В., Тебенкова Д. Н., Никитина А. Д., Кузнецов В. А. Оценка выноса углерода с почвенными водами в доминирующих типах леса брянского полесья // Почвоведение. – 2022. – №. 9. – С. 1086-1097.

Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. // Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН. – 1998. – 316 с.

Лукина Н. В. и др. Оценка состава почвенных вод северотаежных хвойных лесов фоновых территорий индустриально развитого региона // Почвоведение. – 2018. – №. 3. – С. 284-296.

Шишов, Л. Л., Тонконогов, В. Д., Лебедева, И. И., Герасимова, М. И. Классификация и диагностика почв России. // Смоленск: Изд-во Ойкумена. – 2004. – 342 с

Яковлев А. А. Влияние почвенных условий на формирование растительных сообществ на постагрогенных и лесных землях (на примере Ленинградской области) // Санкт-Петербург, 2024 - 308 с.

УДК 631.472.51

ЛЕСНАЯ ПОДСТИЛКА И ЕЁ ВКЛАД В БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ В ЛЕСОАГРАРНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Голядкина И.В., Одноралов Г.А., Сафонова А.А.

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, e-mail: golyadkina@post.vglu.ru

К настоящему времени накоплен значительный материал о роли подстилки в лесных экосистемах, как природного, так и культурного происхождения. Гораздо меньше сведений о биогеоценотическом слое лесной подстилки в лесоаграрных экосистемах искусственных защитных лесных насаждений. Общая площадь лесомелиорированных земель, большая часть которых находится в лесостепной, степной и сухостепной зонах РФ, достаточно значительна и составляет по существующим оценкам более 7 млн. га (по данным ФНЦ агроэкологии РАН, 2017). Основная масса опубликованных работ, посвященных защитным

лесополосам, связана с изучением их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур. Важный блок исследовательской работы посвящен изучению влияния лесных полос на изменение водно-физических свойств и показателей эффективного плодородия черноземных почв. В последнее время, учитывая актуальность работ по снижению выбросов углекислого газа, приобретают развитие научно-исследовательские работы, рассматривающие биогеохимический мониторинг цикла углерода в лесоаграрных ландшафтах. При этом на лесомелиорированных почвах оценка запасов органического вещества проводится, как правило, по отдельным почвенным горизонтам, без учета лесной подстилки, что не дает полного представления о биогенной аккумуляции и минерализации углерода в лесоаграрных ландшафтах.

Кретинин В.М. (2004) оценивает запасы лесных подстилок защитных лесных насаждений в среднем по России в 30658,54 тыс. т., в том числе по лесостепной природной зоне – 11306,76 тыс. т. При этом автор отмечает, что общий запас подстилок на лесомелиорированных почвах больше, чем в естественных лесных массивах, за счет примесей продуктов смыва и дефляции почв. Своими выводами автор подчеркивает значимость «мертвого напочвенного покрова» в защитных лесных насаждениях и дает эколого-энерго-экономическую оценку не только почвенному профилю, но и лесной подстилке.

Настоящая работа проводилась в рамках исследований на полигоне в Воронежской области «FOR&ST CARBON» (полигон интенсивного уровня типа II), предназначенном для прямых наземных оценок баланса парниковых газов в разных типах экосистем и получения данных для развития моделей. На территории государственного природного заказника федерального подчинения «Каменная степь» были заложены постоянные пробные площади в соответствии с ОСТ 56-69-83. «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки».

Цель работы – оценить общие запасы лесной подстилки в старовозрастных защитных лесных насаждениях в условиях лесоаграрного ландшафта. Объект исследования – полезащитная лесополоса №43, автор посадки Морозов Г.Ф., год посадки – 1903, возраст – 120 лет.

Лесополоса является смешанным насаждением, первый ярус которого занимает семенной дуб, а клён остролистный порослевой генерации и вяз приземистый формируют преимущественно второй ярус. Состав древостоя – 5Д4КлО1В. Подлесочные породы представлены бересклетом бородавчатым, бирючиной обыкновенной, лещиной обыкновенной, характер напочвенного покрова – мертвопокровный. Тип почвы – черноземы миграционно-мицелярные на покровных и лессовидных суглинках (Chernozems Chernic (CHch), WRB, 2014). Дополнительным фактором пространственной неоднородности почвенных условий на данной пробной площади являются валеж и наличие крупных древесных остатков.

Отбор образцов лесной подстилки производили с помощью деревянной рамки 50×50 см на учетных площадках, которые располагались в приствольном и подкроновом пространстве деревьев, различающихся локальными экологическими условиями. При этом надо отметить, что старовозрастные насаждения лесополосы №43 характеризуются высокой сомкнутостью древостоя и не всегда можно было выделить ярко выраженные межкроновые участки, образование которых, как правило, связано с вывалом древесных пород.

Сравнительный анализ накопления органического вещества в лесной подстилке в зависимости от типа местообитания показал, что максимальные значения характерны для приствольных участков и составляют 5111,4 г/м², для подкроновых и межкроновых участков – 4648,1 и 3266 г/м², соответственно. В условиях изучаемого высокополнотного насаждения не было обнаружено статистически значимых различий (оценка значимости различий по непараметрическому критерию Краскела-Уоллиса) между запасами лесной подстилки в приствольных и подкроновых местообитаниях.

Сравнение запасов подстилок в изучаемых насаждениях с известными данными позволяет сделать вывод о достаточно высоких значениях, полученных в ходе нашей работы. Так, по оценкам Чевердина Ю.И. (2023) запасы лесной подстилки в условиях старовозрастных

лесных полос из дуба черешчатого (№40 и №72) в Каменной степи не превышают 20-25 т/га. Тунякин В.Д. и соавторы (2022) на примере полезащитной лесополосы №226 (58 лет), заложённой гнездовым способом из дуба черешчатого оценивают запасы лесной подстилки в 14,2 т/га. Для степной зоны по историческим данным (Брук М.С., 1977) в пределах одной разреженной лесополосы дубово-ясеневоего состава, 80-летнего возраста запасы лесной подстилки составили 33,5 т/га.

По ранее опубликованным региональным оценкам общих запасов подстилки в дубняках лесостепи, этот показатель варьирует в спелых и перестойных насаждениях в пределах от 16 до 26 т/га (Одноралов Г.А., 2005). По оценкам Таранкова В.И., проведенным в 2003-2007 гг для культур дуба черешчатого, общая масса подстилки оценивалась от 4,2 до 22,6 т/га, при этом автор отмечает, что лесная подстилка в культурах дуба с возрастом не накапливается, что связано со сравнительно небольшими сроками её разложения. В отличии от региональных лесных сообществ в условиях исследуемой лесополосы в Каменной степи явно протекает процесс накопления запасов лесной подстилки, что выражается прежде всего в значительной мощности и спрессованности этого горизонта.

Таким образом, создание лесных защитных насаждений на месте степных биогеоценозов, превосходящее последние по величине продуцируемой биомассы и накоплению мертвого органического вещества на поверхности почвы вызывает изменения почвообразовательного процесса, одним из характерных признаков которого является накопление запасов органического вещества в лесной подстилке.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 123102700029-3 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)»

УДК 631.8+579.64

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОУДОБРЕНИЙ И БИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В ИСКУССТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Гродницкая И.Д., Пашкеева О.Э., Антонов Г.И., Сенашова В.А., Полякова Г.Г.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, e-mail:

igrod@ksc.krasn.ru

В настоящее время из-за падения естественного лесовосстановления возникает необходимость своевременного качественного искусственного воспроизводства лесов для рационального и непрерывного лесопользования, сохранения равновесия в природе и биосфере в целом. Искусственное лесовосстановление сконцентрировано в основном на территориях лесных питомников, где при выращивании посадочного материала (сеянцев) проводятся определенные агротехнические мероприятия. Комплекс этих мероприятий связан с систематическими антропогенными воздействиями на почвы (вспашка, внесение пестицидов, возделывание монокультуры, изъятие растительности), что негативно сказывается на их плодородии. В почвах питомников снижается содержание питательных элементов, увеличиваются токсикогенность и численность фитопатогенных микроорганизмов; наблюдается развитие деградационных процессов, снижение агрохимического и биологического потенциалов (биогенности).

Актуальным в настоящее время является разработка экологических технологий, способствующих предотвращению истощения почв и сохранности их продуктивности, а также эффективному выращиванию здорового и качественного посадочного материала для восстановления и создания лесных насаждений после антропогенных воздействий (рубки,

пожары и т.д.). Для решения этих проблем необходимо использование биологических методов восстановления почв с помощью биоудобрений и биопрепаратов на основе микроорганизмов, способных не только восстановить, но и существенно улучшить состояние деградированных/нарушенных почв, увеличить адаптационный потенциал растений на ранних этапах формирования фитоценоза. Для своевременного распознавания проблем в почвах такого типа необходимо проводить их экспресс-оценку с помощью биологических параметров.

Целью исследований было дать оценку изменения биологической активности почв лесных питомников, а также эффективности применения биоудобрений (на основе опилочно-почвенной массы с добавлением микродоз азотных удобрений) и биопрепаратов (на основе микробов-антагонистов) в оптимизации лесорастительных процессов в искусственных фитоценозах Красноярской лесостепи.

Для выращивания качественного посадочного материала лесных пород в искусственных фитоценозах в течение ряда лет в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН ведутся исследования по созданию и применению в лесном хозяйстве биоудобрений на основе отходов лесопромышленного комплекса и биопрепаратов на основе биологически активных микроорганизмов, выделенных из почв лесных питомников. Для разработки биоудобрений использовали опилки хвойных пород, почвенный микробно-ферментный комплекс, микродозы азотных удобрений. Проводится скрининг микроорганизмов, обладающих повышенной биологической активностью (ростстимулирующей, антагонистической), стимулирующих рост и развитие растений, способствующих защите их от фитопатогенов, повышению сохранности и улучшению качества. Многочисленные опыты по влиянию этих микроорганизмов на рост и развитие сеянцев хвойных позволили выделить наиболее перспективные штаммы и создать на их основе биопрепараты.

К настоящему времени изготовлены эффективные биоудобрения (на основе опилочно-почвенных субстратов с добавлением микродоз азотных удобрений и микопродукта (ОПСМ), полученным путем частичной биоконверсии опилок дереворазрушающими грибами), и биопрепараты (на основе грибов рода *Trichoderma*, бактерий родов *Streptomyces* и *Bacillus*), проведены их испытания в лесных питомниках Красноярского края.

Из биоудобрений наиболее эффективным при искусственном выращивании хвойных оказался вариант на основе опилочно-почвенного субстрата с добавлением микопродукта и мочевины (ОПСМ+М). Установлено, что применение ОПСМ+М оптимизировало процессы разложения и минерализации опилочной массы, а также способствовало активизации биологических процессов в почве, что отразилось на росте и развитии саженцев сосны обыкновенной и ели сибирской, а также на продуктивности почвы под ними. При внесении ОПСМ+М в почву питомника у обеих пород хвойных увеличилось прирост верхушечной почки центрального побега и высота саженцев, увеличилось содержание белкового азота в ассимиляционном аппарате. В первый год после внесения биоудобрения существенно возросли биологические параметры почвы (ферментативная активность, общая численность микроорганизмов, содержание микробной биомассы). На протяжении четырех лет эксперимента в почве с внесением ОПСМ+М наблюдали постепенное снижение этих показателей, которые в целом оставались выше контрольных вариантов (почва+опилки), что свидетельствует о пролонгированном действии внесенного биоудобрения. Таким образом, внесение в почву ОПСМ+М оптимизировало процессы разложения и минерализации опилочной массы, способствовало активизации биохимических процессов и сохранению высокой биологической активности в ней на протяжении 3–4 лет.

Для снижения вредоносности фитопатогенов по отношению к сеянцам хвойных и улучшения биологической активности нарушенных почв разработаны биопрепараты микробного происхождения на основе аборигенных штаммов антагонистов (*T. harzianum*, *T. lignorum*, *Bacillus* sp., *Streptomyces* sp.), проведены их испытания на опытном питомнике ИЛ СО РАН. Установлено, что среди используемых для предпосевной обработки семян биопрепаратов,

перспективными оказались грибы р. *Trichoderma* и бактерии р. *Streptomyces*, которые повышали сохранность семян сосны обыкновенной на 28-35%, улучшали их морфометрические параметры (в среднем на 20-25%), снижали вредоносность фитопатогенов (на 36-40%) и улучшали биологические параметры (общую численность микроорганизмов, ферментативную активность, содержание микробной биомассы) почвы (в среднем на 30-40%) по сравнению с контролем (обработка водой).

На основании полученных результатов в опытном питомнике ИЛ СО РАН для проведения испытаний в производственных посевах были отобраны наиболее эффективные варианты биопрепаратов на основе грибов рода *Trichoderma*: *T. harzianum*+*T. lignorum* и *T. harzianum*. Испытания биопрепаратов были проведены в 2019-2021 гг. в двух лесных питомниках Казачинского лесничества, расположенных у поселков Мокрушино и Водорезово Казачинского района Красноярского края.

В течение трех вегетационных периодов отмечали положительный эффект биопрепаратов на размер семян (длина от основания верхушечной почки до кончика корня), их густоту и сохранность. Сеянцы в опытном варианте имели большую общую длину и величину корня, более мощные стволы, глубокую и хорошо развитую корневую систему по сравнению с контрольными. Исследования почвы под посевами сосны в питомниках показали, что на опытных участках были увеличены активность ферментов и содержание микробной биомассы в 2–2.5 раза, численность популяций грибов р. *Trichoderma* оставалась достаточно высокой в течение одного вегетационного сезона, что способствовало защите семян сосны от фитопатогенов, повышало их устойчивость и улучшало морфометрические показатели. Считаем, что разработанные и проверенные на практике биоудобрения и биопрепараты могут быть рекомендованы для использования их в искусственном лесоразведении

Работа выполнена в рамках государственного задания FWS -2024-0029.

УДК 631.4

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА МАЛЫХ ОСТРОВОВ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА

Дмитричева Л.Е. Комолова С.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

e-mail dlilia1904@gmail.com

Острова Валаамского архипелага входят в состав природно-исторического региона Карелии, отличаются особой уязвимостью, малой устойчивостью к внешним воздействиям и пониженной способностью к самовосстановлению, особенно в условиях повышенной антропогенной нагрузки. В период 2022-2023 г. были проведены исследования почвенного покрова и состояния растительности трёх малых островов Валаамского архипелага (о. Никоновского, о. Савватия и о. Зосимы).

Остров Никоновский находится в западной части архипелага напротив причалов для туристских теплоходов, о. Савватия и о. Зосимы расположены вдоль восточного побережья о. Валаам. Острова отличаются по рельефу, составу слагающих их пород, воздействию ветров разных направлений и по антропогенному воздействию. Большую часть острова занимают еловые и сосново-еловые леса, преобладают черничные, чернично-кисличные, разнотравные, кислично-чернично-мертвопокровные социации. На высоких открытых и обрывистых участках развиваются лишайниково-вересковые и толокнянковые сосняки, в прибрежной зоне сосняки бруснично-водяниковые. В юго-западной части острова обнаружено много старовозрастных сосен и старых пней, поврежденных пожарами. На плакорном участке в центральной части острова произрастают сосняки разнотравно-вейниковые (финские культуры), возраст деревьев в настоящее время составляет 85-95 лет. На крутом склоне с уступами в западной части острова сохранились участки лесов (возраст

сосен 260 лет), незатронутые вырубками 30х годов XX века. В западной части острова сохранились участки влажно-разнотравных берёзовых лесов.

Почвы острова формируются на сложном денудационно-тектоническом рельефе, в условиях контрастного увлажнения и хорошо развитых склоновых процессов миграции мелкозема и растворенных минеральных и органических веществ на элювии и элюво-делювии габбро-долеритов, в нижних частях склонов встречаются озерные пески и супеси.

Почвенный покров представлен высоко щебнистыми буроземами грубогумусными, которые формируются на склонах и не крупных понижениях на выположенной вершине под елово-сосняками. Склоновые процессы способствуют формированию более мощного почвенного профиля с крупными скелетом.

На крутых склонах или выходах массивно-кристаллических пород встречаются литоземы перегнойные и грубогумусные под сосняками или березняками и почвы-пленки под лишайниково-вейниковой растительностью. Мощность этих почв колеблется от 8 до 2 см. минеральная масса профиля представлена в основном дресвой при очень малом количестве мелкоземлисто материала.

Буроземы острова отличаются высоким содержанием органического вещества в верхних органогенных (14-16% и 29%) и резким падением в минеральной части профиля, что является характерным для почв с грубогумусовыми горизонтами.

Реакция среды почвенного раствора в буроземах колеблется от кислой до сильно кислой, вниз по профилю значения рН возрастают, что связано с увеличением обменных оснований, резким падением содержания органического вещества и слабой выветрелостью материнских пород.

Содержание N-NH₄ в буроземах на склоне достигает максимальных значений 16 мг/100 г в верхних органогенных горизонтах и резко падает при переходе к иллювиальным горизонтам практически до нулевых показателей. Сходная картина наблюдается и для почв на вершине острова, от 8 до 0,6 мг/100 г. В автоморфных почвах на вершине аммонийного азота почти в 2 раза меньше, что связано с меньшим содержанием органического вещества, мощностью горизонта и вовлеченностью этого элемента в биологический круговорот.

Высокую биологическую аккумуляцию можно заметить и по распределению фосфора, его содержание достигает максимальных значений 63 мг/100 г. и 51 мг/100 г. в буроземах склонов и вершины соответственно. При переходе в иллювиальные горизонты его значения равномерно и достаточно резко падают, практически до нулевых показателей, а при переходе к материнским породам незначительно возрастают.

Острова Зосимы и Савватия отличаются меньшими абсолютными отметками и расчлененностью территории. На большей территории о. Зосимы растительность представлена различными сосняками (разнотравными, лишайниковыми, бруснично-луговиковыми); а в понижениях отмечены березняки (елово-березняки разнотравные, березняки бруснично-политриховые). Возраст древостоев до 70 лет. Вдоль береговой линии формируются комплексы скальной и прибрежно-водной растительности. В восточной части о сохранились разновозрастные сосняки лишайниковые. Максимальный возраст сосны 355 лет. Преобладающая часть острова Савватия занята сосновыми лесами, небольшие участки в понижении заняты ельниками с участием лиственных пород (берёзы, осины, ивы). Отмечено сильное повреждение древостоев ветровалами по всему острову, особенно на возвышенной части.

Почвенный покров этих островов представлен литоземами грубогумусными и прегнойными песчаного и супесчаного состава. Мощность почв колеблется от 10 до 30 см массивно-кристаллические породы чаще всего перекрыты озерными песками разной крупности и сортированности. Почвы островов отличаются кислой реакцией среды. Вниз по профилю во всех разрезах значения рН увеличиваются незначительно.

Максимальные значения гидролитической кислотности отмечается в верхних органогенных горизонтах литоземов на склоне (67 мг-экв /100 г), минимальные - 11 мг-экв. /100 г на поверхности прибрежных литоземов.

Содержание обменных оснований минимально в литоземах на озерных песках прибрежной части о. Савватия и практически не меняется с глубиной от 8 до 6,5 мг-экв /100 г в верхних и нижних горизонтах соответственно. В литоземах грубогумусных центральной части острова этот показатель на поверхности достигает 20 мг-экв/100 г, затем падает до 11 мг-экв/100 г в перегнойном горизонте и опять возрастает до 14 мг-экв/100 г на границе с материнской породой. Постепенное резкое падение значений суммы оснований отмечается на средней части склона от 22 до 8 мг-экв/100 г.

Содержание металлов и микроэлементов тесно связано с составом почвообразующих пород. Габбро-долериты обуславливают максимальное содержание металлов в буроземах о.

Никоновский. Выветрелость коренных пород, промывной режим, кислый состав органического вещества, окислительные условия в почвенном профиле способствуют накоплению полуторных оксидов в иллювиальных горизонтах. Содержание этого элемента в иллювиально-железистых горизонтах достигает 85600 мг/кг, алюминия - 11700 мг/кг.

Поведение марганца демонстрирует другой характер, наибольшее содержание (1880 мг/кг) в верхнем, до 6 см, грубогумусном горизонте, второй максимум – 933 мг/кг отмечен на глубине 10-20 см, литоземы о. Зосимы отличаются минимальным содержанием марганца с поверхности – 38 и 49 мг/кг на глубинах 0-5 и 5- 12 см соответственно

Среди водорастворимые форм металлов склоновых буроземов о. Никоновский преобладает марганец 1390 мг/кг вниз по профилю его содержание значительно уменьшается – до 70 мг/кг. Водорастворимые формы железа и алюминия также достигают в иллювиально-железистом горизонте - 840 мг/кг и 488 мг/кг соответственно. В почвах островов Савватия и Зосимы среди водорастворимых форм преобладают железо, концентрации которого растут по профилю вниз, от 279 до 825 мг/кг в литоземах о. Савватия и со 187 до 1470 мг/кг, с незначительной аккумуляцией на границе органического и минерального горизонта.

Литоземы о. Савватия отличаются максимальным содержанием свинца – 19 и 23 мг/кг.

Органогенный горизонт литоземов на смешанных отложениях отличается максимальным содержанием меди среди всех рассмотренных почв, наряду с медью в нем активно аккумулируются свинец и никель.

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОДА В РАЗЛИЧНЫХ ПУЛАХ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПОСЛЕ СПЛОШНОЙ РУБКИ

Дымов А.А., Старцев В.В., Осипов А.Ф., Кутявин И.Н.

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, aadymov@gmail.com

Леса Российской Федерации содержат значительное количество углерода. Основные его запасы в таежных экосистемах сосредоточены в почвах, фитомассе, крупных древесных остатках. Лесозаготовительные мероприятия существенно изменяют лесные экосистемы. Единичные работы, показывающие изменение углеродного баланса бореальных лесов выявили, что территории вырубок в первые два десятилетия восстановительной сукцессии являются источником углекислого газа в атмосферу. При существующем направлении развития общества на смягчение климатических изменений, особый интерес приобретают лесоклиматические проекты, связанные с уменьшением поступления и секвестрирования излишков парниковых газов из атмосферы. К настоящему времени практически отсутствуют количественные оценки влияния заготовки древесины на баланс углерода в экосистемах. Лесохозяйственные мероприятия будут важнейшим фактором, регулирующим распределение углерода по компонентам лесных экосистем. При этом данные по прямым определениям изменений пулов углерода различных пулов экосистем естественного леса и

после рубки, проведенных на одном и том же участке, носят единичный характер. В связи с чем цель данной работы заключалась в оценке трансформации запасов и потоков углерода в среднетаежном хвойно-лиственном насаждении после сплошной рубки леса.

Исследования выполнены в подзоне средней тайги Республики Коми в 2020–2021 гг. Климат района исследований умеренно континентальный, умеренно холодный. Среднегодовая температура воздуха составляет $+0.4^{\circ}\text{C}$, среднемесячная температура в июле $+16.7^{\circ}\text{C}$, в январе – -15.2°C . В рамках исследования оценивали содержание углерода в почвах, древесной растительности, крупных древесных (в том числе порубочных) остатках (КДО), растениях напочвенного покрова, опаде. Кроме этого, проводили ежемесячную оценку эмиссии углекислого газа с поверхности почв при помощи LI COR 8100 и вынос в составе лизиметрических вод в течении с мая по сентябрь.

Полученные результаты позволили выявить, что в экосистеме исходного леса было сосредоточено 14.66 кг С/м^2 (рисунок). Значительная часть углерода приходилась на фитомассу (62.4%). Метровая толща почвы (с учетом мощности подстилки) аккумулировала чуть больше трети запасов углерода (35.5%). Углерод в составе биомассы растений напочвенного покрова составляет около 1.1% или 0.155 кг С/м^2 . Крупные древесные остатки в составе исходного леса представлены сухостоем, пнями и валежом с общим вкладом 0.148 кг С/м^2 .

Рубка леса приводит к значительному уменьшению и перераспределению запасов углерода в рассматриваемых компонентах экосистем. Общий запас углерода на вырубке составляет 8.08 кг С/м^2 . Показано, что в составе стволовой древесины при рубке выносятся 6.57 кг С/м^2 , что составляет 44.84% от запасов углерода исходной экосистемы или 71.79% от углерода биомассы древостоя. В экосистеме вырубки лишь 7.1% запасов углерода сосредоточено в деревьях, оставленных в процессе рубки. Запас углерода, сосредоточенный в составе почв, практически не изменяется. Но при этом вклад запасов углерода почв в общий пул углерода экосистемы возрастает до 66.8%. Поступление порубочных остатков и оставление пней приводит к существенному увеличению доли углерода КДО до 23.4% (1.88 кг С/м^2). Более половины массы КДО представлены порубочными остатками и почти треть (32.8%) вновь образованными пнями. На вырубке несколько увеличивается содержание углерода биомассы растений напочвенного покрова до 0.221 кг С/м^2 (или 2.7% от общих запасов углерода экосистемы).

На поверхность ненарушенного насаждения в составе древесного опада поступает 170 г С/м^2 , с преобладанием активных (хвоя, листья) фракций опада. Рубка древостоя приводит к существенному (в 42 раза) уменьшению поступления углерода на поверхность почв в виде различных фракций опада, при этом в его структуре продолжают доминировать активные фракции. Эмиссия углекислого газа с поверхности почв вырубки возрастает примерно на 10% по сравнению с почвой исходного леса. Наибольшей неопределенностью характеризуется вынос углерода в составе лизиметрических вод. Проведенные исследования позволяют выявить лишь тенденции к уменьшению выноса углерода в составе лизиметрических вод на вырубках. С одной стороны, это может быть связано с уменьшением корневых выделений деревьев, которые удалены с территории вырубки. С другой стороны, в первые годы после рубки наблюдаются процессы переувлажнения верхних горизонтов почв, что может приводить к застою влаги в верхних минеральных горизонтах, уменьшению вертикальной миграции. При этом с лизиметрическими водами из верхних горизонтов почв выносятся лишь несколько процентов от общих учитываемых потоков углерода как в исходном лесу, так и на вырубке.

Проведенные комплексные исследования позволили выявить, что современные лесозаготовительные мероприятия с использованием колесной техники существенно изменяют запасы углерода в лесных экосистемах. В составе деловой древесины выносятся около 2/3 углерода биомассы, еще около 30% от углерода фитомассы представлено порубочными остатками, которые, вероятно, будут являться длительным источником

увеличения поступления углекислого газа с территории вырубок в течение первых десятилетий. В первый год после сплошной рубки достоверные различия в надземной биомассе растений напочвенного покрова не выявлены, но отмечены структурные изменения во вкладе отдельных компонентов в общие запасы, обусловленные активным зарастанием вырубки травянистыми растениями. Показано, что происходит существенное перераспределение пулов углерода, на вырубке наблюдается увеличение запасов углерода в составе КДО. Запасы углерода в почвах практически не изменяются, но при этом на 20% территории происходит турбирование верхних горизонтов почв и соответственно может происходить изменение степени стабилизации органического вещества в верхних горизонтах. Неучтенным остается вынос углерода латеральным стоком по волокнам. Установлено, что в результате сплошной рубки среднетаежного хвойно-лиственного леса поступление опада на поверхность почвы существенно сократилось, тогда как поступление углерода в атмосферу с дыханием почвы в течение бесснежного (май–октябрь) незначительно возросло.

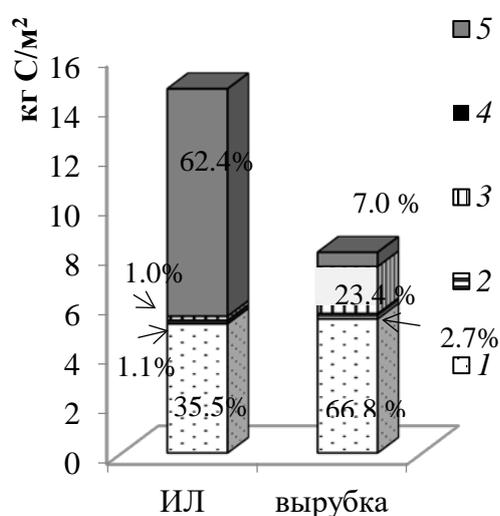


Рисунок. Вклад углерода отдельных пулов в исходном лесу (ИЛ) и на вырубке. Обозначения: 1 – запасы в почвах; 2 – биомасса растений напочвенного покрова; 3 – крупные древесные остатки (сухостой, валеж, пни; на вырубке добавляются порубочные остатки, в том числе вновь образованные пни); 4 – запасы в подросте; 5 – запасы в древостое.

Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 23-74-
10007, <https://rscf.ru/project/23-74-10007/>.

УДК 631.4

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ЭЛЕМЕНТАРНОГО ЛАНДШАФТА НА ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Иванова В.Н., Данилова М.А., Лукина Н.В.

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, e-mail:

Lv.val.lentina@gmail.com

Почва играет существенную роль в регулировании цикла углерода лесами, которые являются мощнейшими регуляторами климата. На запасы органического углерода в почвах, их пространственное варьирование в лесах значительное влияние оказывают история природопользования, биотические (растительность, почвенная биота) и абиотические (климат, почвообразующая порода, рельеф) факторы.

Цель данного исследования – оценить влияние растительности и положения в рельефе на запасы углерода в почвах еловых лесов на северном пределе их распространения. Объект исследования – почвы еловых лесов подзоны северной тайги. Работы проводились в центральной части Кольского п-ва в сопряженном ландшафте южного берега оз. Умбозеро (Манаков, Никонов, 1981). Выделено 3 элементарных геохимически сопряженных ландшафта - автоморфный, транзитный и аккумулятивный, в каждом по 3-4 доминирующих элементарных биогеоареала (Орлова, 2013) (в подкроновых и межкroновых пространствах). В автоморфной позиции на подзоле иллювиально-железистом (Carbic Podzols) формируется ельник чернично-зеленомошный, в котором идентифицировано 4 ЭБГА: еловый кустарничково-зеленомошный (далее ЕКЗ) (доминирующие растения: ель, зеленый мох, черника, вороника), кустарничково-зеленомошный (далее КЗ) (доминируют черника, вороника, дерен, брусника, зеленые мхи, луговик), ельник мертвопокровный (далее ЕМП) (ель, единично брусника), еловый подрост (далее ЕМ) (доминируют ель, зеленые мхи, черника, вороника). В ельнике зеленомошно-деренно-вороничном с примесью березы транзитного ландшафта формируются подзолы иллювиально-гумусовые (Rustic Podzols) выделено 4 ЭБГА: ЕКЗ (доминируют ель, зеленые мхи, вороника), КЗ (доминируют дерен, вороника, луговик, единично иван-чай), ЕМП (ель), березовый (далее Б) (доминируют береза, зеленые мхи, дерен, вороника). В ельнике зеленомошно-багульниково-сфагновом аккумулятивного ландшафта формируется торфяно-подзол глеевый (Gleyic Podzols), выделено 3 ЭБГА: ЕКЗ (доминируют ель, багульник, единично зеленые мхи и вороника), багульниковый (далее БГ) (доминируют багульник, единично зеленые мхи) и сфагновый (далее СФ) (доминируют сфагновые мхи, единично морошка).

Для оценки влияния растительности на запасы почвенного углерода рассматриваются запасы в горизонтах и слоях почв, формирующихся в разных ЭБГА в каждом элементарном ландшафте.

В автоморфном ландшафте запасы углерода в подстилке LFH уменьшается в ряду: ЕМП-ЕМ-КЗ-ЕКЗ от 36,6 до 20,1 т га⁻¹, что может свидетельствовать о самой низкой скорости разложения органического вещества в мертвопокровном ЭБГА. Суммарный запас углерода в почве отличается в разных ЭБГА, демонстрируя максимальные значения в ЕМП и ЕКЗ, формируемых древостоями старше 100 лет – 73,2 и 71,5 т га⁻¹ соответственно (50,2 и 48,6 т га⁻¹ в КЗ и ЕМ). Источником органического вещества в подкroновых ЭБГА, наряду с опадом, являются кроновые и стволовые воды, которые значительно богаче органическим углеродом, по сравнению с межкroновыми атмосферными выпадениями.

В транзитном ландшафте не обнаружено статистически значимых различий в суммарных запасах почвенного углерода между ЭБГА. Показатели варьируют от 35,2 т га⁻¹ в Б до 47,0 т га⁻¹ в КЗ. Также значимых различий между ЭБГА не выявлено в минеральном 30 см слое почв, запас углерода варьирует от 14,9 до 23,3 т га⁻¹. В подстилке наименьшие запасы углерода наблюдаются в березовом ЭБГА – 16,1 т га⁻¹ (21,0-23,7 т га⁻¹ в остальных ЭБГА), что связано с относительно высокой скоростью разложения опада березы.

В аккумулятивном ландшафте не обнаружено статистически значимых различий в суммарных запасах углерода между ЭБГА (58,1-66,0 т га⁻¹). В аккумулятивном ландшафте также не наблюдается различий между ЭБГА в запасах углерода в подстилке (31,9-57,0 т га⁻¹) и минеральном 30 см слое почв (24,0-26,2 т га⁻¹).

Независимо от ландшафта, в межкroновых ЭБГА запасы углерода в подгоризонте L подстилки меньше, чем в подкroновых, тогда как в подгоризонте F, напротив, запасы углерода выше в межкroновых ЭБГА. Выявленная зависимость может быть связана с более высокой скоростью разложения опада в межкroновых ЭБГА.

При оценке влияния ландшафта на запасы почвенного углерода анализируются показатели запаса углерода только в аналогичных ЭБГА, формирующихся в различных позициях ландшафта. Также оценивается изменение запасов углерода в разных ландшафтах без учета ЭБГА.

В подкроновых ЭБГА (сравнивается только ЕКЗ) статистически значимые различия в суммарных запасах почвенного углерода между элементарными ландшафтами не обнаружены. В минеральном слое максимальный запас углерода обнаруживается в автоморфных ландшафтах – 50,8 т га⁻¹ (18,5 и 26,2 т га⁻¹ в транзитном и аккумулятивном соответственно). Различий в горизонте подстилки, также, не выявлено, однако наблюдается дифференциация по подгорizontам. Запасы углерода в подгорizontах L (1,3 т га⁻¹) и F (2,1 т га⁻¹) в транзитном ландшафте меньше, чем в автоморфном и аккумулятивном. Однако в подгорizontе H запас максимальный в транзитном ландшафте (17,6 т га⁻¹), что может быть связано с латеральной миграцией органических веществ по склону. В автоморфном ландшафте запасы углерода в подгорizontах L (2,2 т га⁻¹) и F (5,7 т га⁻¹) максимальны, что обусловлено относительно низкой скоростью разложения. В подгорizontе H (12,9 т га⁻¹) запасы углерода меньше, чем в ландшафтах ниже по склону, что объясняется как низкой скоростью разложения в верхних подгорizontах, так и латеральным стоком органического вещества.

Межкroновые участки представлены кустарничково-зеленомошным ЭБГА (КЗ) в автоморфном и транзитном ландшафтах и БГ и СФ в аккумулятивном ландшафте. В межкroновых ЭБГА ландшафт оказывает влияние только подстилку. Так, в СФ аккумулятивного ландшафта наибольшие запасы углерода в горизонте подстилки – 57,9 т га⁻¹, тогда как в БГ запас углерода 42,0 т га⁻¹, в автоморфном и транзитном ландшафтах запасы углерода в органогенном горизонте межкroновых ЭБГА значительно ниже – 21,8 и 23,7 т га⁻¹, соответственно. Превышение запасов углерода в аккумулятивном ландшафте почти в 2 раза объясняется появлением горизонта торфа, который депонирует в себе большое количество органического вещества.

Таким образом, самые высокие запасы углерода сформировались в подкroновых ЭБГА, сформированных древостоями старше 100 лет в автоморфном ландшафте. По депонированию углерода в органогенном горизонте – почвы межкroновых ЭБГА аккумулятивных ландшафтов.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории ЦЭПЛ РАН «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (регистрационный номер 12211500023-6).

УДК 631.4:630*232

ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ ДЛЯ ПРАКТИКИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Ильинцев А.С.^{1,2}, Наквасина Е.Н.^{1,2}

¹Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства;

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск,
E-mail: a.ilintsev@narfu.ru, e.nakvasina@narfu.ru

В лесном хозяйстве распространена механическая обработка почвы путём воздействия на почву рабочими органами машин и орудий для проведения мер содействия естественному лесовозобновлению, посадки сеянцев или посева семян. Это приравнивается к запланированным нарушениям почв экосистемы (минерализация, создание микроповышений, полос, борозд и др.). Важно подбирать способ обработки для различных лесорастительных условий и типов почв, который обеспечит высокую приживаемость посадочного материала и качество лесных культур. Этому могут помочь исследования, связанные с изучением свойств лесных почв, особенно физических (строение, гранулометрический состав, пористость, плотность, аэрация, температура, влагоудержание), так как они влияют на все аспекты плодородия и продуктивности. Фундаментальный подход в оценке условий, сформированных при разной обработке почвы при лесовосстановлении, позволит дать рекомендации практическому лесоводству для целей управления. Оценили влияние обработки почвы полосами и микроповышениями, созданными экскаватором, на физические свойства корнеобитаемого слоя почвы и успешность посадки

лесных культур в различных типах леса (всего 12 участков лесных культур сосны и ели разного возраста). Исследования проводили на лесокультурных площадях в таежных лесах европейской части России (Архангельская область, Республика Коми). В корнеобитаемом слое почвы с глубины 10 см с помощью почвенного бура отбирали по 10 образцов для оценки физических свойств в местах с обработанной почвой и на пасеке (на почве естественного сложения).

В лишайниковом типе леса способы обработки почвы (полосы и микроповышения) не повлияли на плотность сложения ($p=0.776$) и общую пористость ($p=0.307$) (таблица). Тем не менее, отмечено снижение полевой влажности почвы, особенно в микроповышениях ($p=0.036$), которая повлияла на увеличение пористости аэрации по сравнению с контролем ($p<0.001$). В черничном типе леса отмечено увеличение плотности сложения, снижение полевой влажности и общей пористости в микроповышениях ($p=0.022$; 0.001 ; 0.0008).

При подготовке микроповышений с помощью ковша экскаватора в черничных и избыточно-увлажненных типах леса на их поверхность выносятся средне- и тяжелосуглинистые нижние горизонты почвы, покрывая турбированную смесь более легких горизонтов (лесная подстилка, элювиальный, иллювиальный горизонты). В результате верхний 20-сантиметровый слой микроповышений в 70 % случаев состоит из тяжелых по гранулометрическому составу горизонтов почвы и по физическим свойствам (плотность и пористость) отличается от нативной почвы. Микроповышения с подобным выносом нижних горизонтов почвы в толщу распространения посаженных семян усиливают дифференциацию свойств почв в посадочных местах и изменчивость приживаемости и роста семян.

Важно сравнить содержание влаги (влажность) на обработанной и нативной почве в летний период. Фактор воды является определяющим при адаптации семян, и именно влага в почве разного гранулометрического состава может отразить особенности и критичность ее для роста семян хвойных пород при разной обработке почвы. Плохая обеспеченность влагой может ограничить рост семян. Обработка почвы микроповышениями в долгомошном типе леса повлияла на снижение полевой влажности ($p<0.001$) и увеличение пористости аэрации по сравнению контролем ($p<0.001$), тогда как влияние полосной обработки почвы на физические свойства долгомошном и черничном типах леса не установлено. Влажность корнеобитаемого слоя полос соответствует необработанной лесной почве в пасеке. Однако иногда внутри полос может наблюдаться накопление воды атмосферных осадков по причине ограничения их стока за пределы полос валиками из снятой подстилки. Возможно из-за накопления влаги и нет разницы между влажностью почвы в полосах со снятой лесной подстилкой даже на песчаных почвах лишайникового типа леса.

На микроповышениях во всех типах леса наблюдается снижение влажности корнеобитаемого слоя, по сравнению с полосами и необработанной почвой. Причиной этого может быть органический слой внутри них, который уменьшает капиллярный поток воды снизу. В условиях переувлажнения почв подготовка почвы микроповышениями позволит снизить избыточную влажность корнеобитаемого слоя почвы, что благоприятно сказывается на аэрации.

Таблица – Средние значение физических свойств почвы в корнеобитаемой толще полос, микроповышений и пасек

Тип леса	Положение	Плотность сложения, г/см ³	Полевая влажность, %	Плотность твердой фазы, г/см ³	Пористость общая, %	Пористость аэрации, %
Лишайниковый	пасеки	1,28±0,025	15,7±2,42	2,19±0,007	41,5±1,33	21,5±3,30
	полосы	1,29±0,032	9,7±1,90	2,36±0,046	45,2±1,43	32,5±2,31
	микроповышения	1,30±0,031	7,5±1,04	2,19±0,062	40,2±1,77	30,7±2,99

Черничный	пасеки	1,25±0,029	31,0±1,44	2,36±0,028	47,1±1,40	9,1±1,40
	полосы	1,26±0,031	27,5±0,99	2,52±0,009	49,9±1,36	15,6±1,75
	микроповышения	1,38±0,039	19,6±1,55	2,24±0,010	38,5±1,73	12,4±1,71
Долгомошный	пасеки	1,28±0,065	35,7±2,59	2,51±0,032	49,5±2,02	6,9±1,55
	полосы	1,43±0,035	26,4±1,90	2,57±0,018	44,2±1,36	7,2±1,25
	микроповышения	1,34±0,029	17,0±1,19	2,37±0,010	43,5±1,23	21,3±1,14

Показатели пористости отражают регулирование соотношения воды и воздуха в почве. В наших исследованиях в лишайниковом и долгомошном типах леса пористость на микроповышениях и полосах соответствует необработанной почве, что согласуется с тенденциями показателей по плотности сложения и влажности. Отмечено лишь заметное снижение пористости в микроповышениях в черничном типе леса, которое связано с уплотнением их ковшем при формировании и свойствами почвы, вынесенной на поверхность. Общая пористость в полосах и микроповышениях в большинстве случаев ниже оптимальных значений (выше 50 %), установленных для пахотных горизонтов почв. Разная обработка почвы отразилась на качестве лесных культур. В долгомошном типе леса приживаемость, высота и прирост сеянцев ели с открытой корневой системой в микроповышениях достоверно выше, чем в полосах (<0.001), но не их диаметр ($p=0.240$). В лишайниковом и черничном типах леса различий в росте сеянцев как с открытой, так и с закрытой корневой системой при различной обработке почвы не установлено. Проведенные исследования подтверждают необходимость учета свойств почвы в комплексном аспекте вместе с ее типом и условиями произрастания. Физические факторы, формирующиеся при обработке почвы, меняются в зависимости от типа почвы и ее обеспеченности влагой как основным фактором выживания растений. Однако они связаны также со строением почвы и формирующегося посадочного места, что позволяет дать практические рекомендации по технологии подготовки полос и микроповышений в различных типах леса, по применяемому виду и глубине размещения посадочного материала.

Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства. Регистрационный номер темы: 122020100319-9.

УДК 630.114.27

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СПЕКТРОВ ФОРМ ГУМУСА В БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСАХ ПРИ КОНТРАСТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Коркина И.Н., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е.

ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург,

korkina@ipae.uran.ru

Глобальные климатические изменения проявляются, в числе прочего, в увеличении частоты экстремальных погодных явлений, таких как засухи. Поэтому особенно актуальна оценка реакции на них природных экосистем. Формы гумуса, представляющие собой типы морфологического строения верхних горизонтов почв, – это видимый невооруженным взглядом индикатор структуры и обилия почвенной биоты, скорости разложения органического вещества и его качества, особенностей депонирования углерода в лесных подстилках и гумусовых горизонтах. Цель работы – проследить многолетнюю динамику спектров форм гумуса при контрастных погодных условиях (на примере южнотаежных лесов Среднего Урала). Работу выполняли в течение нескольких лет, часть из которых пришлось на условия нормального увлажнения, а часть – сильной засухи. Мы предположили, что засуха

будет оказывать неблагоприятное влияние на почвенную биоту, что приведет к смене форм гумуса.

Диагностику форм гумуса выполняли в соответствии с Европейской морфофункциональной классификацией, в которой таксономия форм гумуса построена на зависимости морфологического строения органогенных горизонтов от состава и обилия сапротрофного комплекса почвенной биоты, а климатические условия и почвообразующие породы рассматриваются как условия для жизнедеятельности почвенных организмов. В совокупности эти факторы определяют формирование той или иной системы форм гумуса (Humus system). Система форм гумуса – один из иерархических уровней классификации, объединяющий формы гумуса с одинаковыми экологическими детерминантами (биотическими и абиотическими) и одинаковым типом «биологического функционирования» или стратегии экосистем.

Пробные площадки были заложены на территории Первоуральского и Нижнесергинского районов Свердловской обл. в елово-пихтовых (6 площадок), сосновых (3 площадки) и березовых (3 площадки) лесах с дерново-подзолистыми почвами. На каждой пробной площадке были зафиксированы на местности по 5 миниплощадок 1.5×1.5 м, отстоящих друг от друга на 5–15 м. На миниплощадках ежегодно проводили описание и диагностику форм гумуса на протяжении 5 лет (2019–2023 гг.), в конце каждого вегетационного сезона (начало сентября). Общее число миниплощадок составило 60, описаний – 300. Диагностику проводили с минимальными нарушениями почвенного покрова: подстилку аккуратно разрезали и отгибали острым ножом, после описания возвращали обратно, место выемки подстилки обозначали пластиковой палочкой, в последующие годы описания проводили с небольшим отступом от этой точки.

Климат территории континентальный, с промывным типом водного режима. По данным ближайшей к району метеостанции (г. Ревда) за последние 10 лет (2014–2023 гг.) среднемесячная температура самого холодного месяца (января) составила -13.5°C , самого теплого (июля) – $+18.0^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков равно 500 мм. Последние пять лет оказались очень контрастными по условиям увлажнения, что оценили с помощью стандартизованного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI). Основу для его расчетов составил непрерывный ряд метеонаблюдений за осадками и температурой за период 1959–2023 гг. Значения индекса в диапазоне от -1 до $+1$ указывают на нормальное увлажнение, менее -1 – на недостаточное, более $+1$ – на избыточное. Для периода в 5 месяцев вегетационного сезона, т.е. с мая по сентябрь, условия увлажнения в 2019 и 2020 гг. можно охарактеризовать как нормальные (SPEI составил 0.01 и -0.34 , соответственно), а в вегетационные сезоны 2021–2023 гг. – как засушливые. При этом условия 2021 г. соответствуют экстремальной засухе (SPEI равен -2.25) с продолжительным засушливым периодом с мая по август, 2022 г. – умеренной засухе (SPEI равен -1.12) с продолжительным засушливым периодом в июле и августе, 2023 г. – сильной засухе (SPEI равен -1.68) с засушливым периодом в мае, июле и сентябре, который чередовался с нормальным увлажнением в июне и августе. Объемная влажность почвы, измеренная цифровым влагомером для слоя 0–5 см, за период наблюдений сократилась в 3 раза: в ряду с 2019 г. по 2023 г. она составила 32.8–19.4–20.1–9.8–12.3%.

На обследованной территории представлены 5 форм гумуса, которые относят к двум системам – Mull и Moder. Для системы Mull характерна высокая скорость разложения органического вещества и высокая биологическая активность с ключевой ролью в деструкции эндогеинных видов дождевых червей, а депонирование углерода происходит преимущественно в органоминеральном горизонте А. Система Moder отличается от Mull замедленной скоростью трансформации опада при участии главным образом эпигейных дождевых червей, мезофауны (энхитреиды и микроартроподы) и микроорганизмов, а углерод депонируется как в подстилке, так и в минеральных горизонтах. Описанные формы составляют нисходящий ряд по степени биологической активности: Mesomull – Oligomull –

Dysmull – Hemimoder – Eumoder. В первый год наблюдений встречаемость форм в указанном ряду составила 2–12–71–10–5%. Формы Mesomull и Oligomull были описаны только в ельниках-пихтарниках (суммарно в этом типе леса составляли 27%). В березняках была высока доля Moder-форм (суммарно они составляли 20%), что, по-видимому, объясняется произрастанием березняков на месте вырубок и присутствием в почве большого количества трудно разлагаемых древесных остатков. В 2020 г. при сохранении нормального увлажнения каких-либо существенных изменений спектра не произошло. В 2021 г., после экстремальной летней засухи, исчезли наиболее активные формы Mesomull и Oligomull. В рассматриваемом ряду встречаемость форм составила 0–0–85–13–2%. В дальнейшем, при сохранении, хотя и некотором смягчении засушливых условий, в 2022 и 2023 гг., форма Oligomull была встречена лишь в единичных случаях в ельниках-пихтарниках (по 1 прикопке в каждом туре описаний, 1.6%). Количество Moder-форм в пересчете на все площадки оставалось почти постоянным во все туры, но в разных типах леса изменялось неодинаково: в ельниках отмечено их полное отсутствие в 2020 и 2023 гг., в березняках – увеличение доли в последние два года (в основном за счет формы Hemimoder) до 40–47%, в сосняках – наоборот, снижение до 0–1.6% в последние три года. Форма Dysmull всегда доминировала: 75–85% в разные годы в пересчете на все площадки, 64–97% – в ельниках, 73–100% – в сосняках, 53–81% – в березняках.

Выделено два типа временной динамики форм гумуса (оценивалась индивидуально для каждой миниплощадки): стабильный – отсутствие изменений форм гумуса в течение всего периода наблюдений, флуктуирующий – смена форм гумуса с возвратом к прежним формам в последующих турах наблюдений. Стабильный тип для 5-летних рядов выявлен на 43% миниплощадок, на которых постоянно присутствовала форма Dysmull, флуктуирующий – на 57% миниплощадок. При флуктуирующей динамике преобладают колебания между формами Oligomull – Dysmull (13 случаев из 240 переходов между смежными турами описаний) или Dysmull – Hemimoder (41 случай). Отметим, что практически отсутствовали переходы форм Oligomull и Mesomull в Moder-формы (зафиксировано всего 2 случая перехода Oligomull – Hemimoder).

Таким образом, при контрастной смене нормальных условий увлажнения на сильно засушливые, спектры форм гумуса в разных типах леса оставались очень стабильными с постоянным доминированием формы Dysmull. Несмотря на сокращение в сезоны засух встречаемости наиболее активных форм Mesomull и Oligomull, система Mull не перешла в систему Moder (на тех площадках, где ранее Moder-формы не встречались). Ухудшение условий увлажнения не вызвало существенного повышения доли Moder-форм. Крайней в ряду активности формой всегда оставалась Eumoder, которая никогда не переходила в следующую форму Dysmoder. Все это свидетельствует о высокой устойчивости систем форм гумуса к длительным неблагоприятным условиям увлажнения.

УДК 631.4

ВКЛАД ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА

Кулагина В.И., Александрова А.Б., Рязанов С.С.

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, viksoil@mail.ru

Почвы – один из компонентов лесных экосистем, вклад которых в общие запасы углерода рекомендуется учитывать при расчетах, хотя в «Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (2017) отмечается, что этот пул не является обязательным для учета. Мнения о доле запасов углерода почв от общих запасов в лесной экосистеме сильно расходятся: от более половины запасов, до «можно пренебречь».

Исследования, проведенные на территории Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника на 6 учетных площадках, позволили

сравнить запасы углерода в почвах и общих запасах, включающих массу древостоя и лесной подстилки. Почвы – дерново-подзолистые.

Запасы углерода в массе живой древесины определялись на основании замеров диаметра стволов и высоты всех деревьев на учетной площадке. При отборе образцов лесной подстилки использовалась рамка.

Образцы почв отбирались из пяти разрезов на каждой учетной площадке. Расчет запасов проводился на основе содержания гумуса в каждом горизонте и его объемного веса для слоев мощностью 30 см и 100 см. Расчет для слоя 30 см рекомендован «Методическими указаниями...» (2017), а также признается эталонным для оценки запасов углерода FAO (Food and Agriculture Organization). Расчет для метровой толщи позволяет оценить практически весь запас углерода в дерново-подзолистых почвах.

Показано, что в древних старовозрастных лесах Раифского участка заповедника основная доля (70-85%) запасов углерода находится в составе древесины, 1,5-6% приходится на долю подстилки. Результаты для почв приведены в таблице 1.

Таблица 1. Доля запасов углерода в почвах от общих запасов углерода лесных экосистем

Биоценоз	Доля от общих запасов, %	
	0-30 см	0-100 см
Сосняк перестойный	7,9	12,2
Липняк перестойный	21,5	27,5
Березняк перестойный	18,6	28,1
Сосняк средневозрастный	8,9	10,5
Липняк средневозрастный	23,6	28,9
Березняк средневозрастный	9,2	14,9

Для сосняков характерна минимальная доля почв в общих запасах углерода. В слое 30 см она составляет менее 10%. Если учитывать запасы в метровом слое, то доля увеличивается незначительно. Это связано с особенностями функционирования сосновых биогеоценозов: замедленное разложение хвойной подстилки, кислая реакция среды, низкая микробная активность, неблагоприятные условия для гумификации и накопления гумуса в почве. В почвах липняков сосредоточено от 1/5 до 1/3 общих запасов углерода биогеоценоза. Опад мягколиственных пород содержит больше азота и кальция, быстрее разлагается, способствует закреплению гумуса в верхней части профиля почв. Мощность лесной подстилки в липняках небольшая по сравнению с сосняками, содержание гумуса в почвах, наоборот, больше. Березняки по доле запасов углерода в почвах занимают промежуточное положение.

Дерново-подзолистые почвы Раифского участка заповедника нельзя назвать богатыми органическим углеродом. Однако запасы углерода в почвах Раифского участка составляют 7,9 до 28,9 % от общих запасов углерода лесных биогеоценозов и пренебрегать ими не следует.

УДК 631.427.22

ЭКОЛОГО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ» (СРЕДНЕТАЕЖНАЯ ПОДЗОНА КАРЕЛИИ)

Медведева М.В.¹, Ахметова Г.В.¹, Дубровина И.А.², Мошкина Е.В.¹, Мамай А.В.¹

¹Институт леса КарНЦ РАН, e-mail: mariamed@mail.ru;

²Институт биологии КарНЦ РАН

Проблема раннего выявления изменения свойств почв на фоне антропогенного воздействия является в настоящее время одной из актуальных. Микроорганизмы хорошо зарекомендовали себя в мониторинговых исследованиях, так как быстро реагируют на

изменения свойств почв на ранних этапах, поэтому могут быть использованы в качестве надежных индикаторов их состояния. Для получения информации о микробиологических свойствах почв, необходимо проводить анализ микробиоты ненарушенных лесных экосистем, которые не испытывают антропогенное воздействие. В качестве объекта исследования, в этой связи, могут быть использованы почвы заповедных территорий, на которых антропогенный пресс сведен к минимуму. Особенно актуальными становятся работы в области раннего выявления изменения свойств почв в связи с глобальными изменениями климата и последствиями, которые они могут оказывать на круговорот углерода и элементов-биофилов. Существующие в настоящее время методы оценки состояния микробиоты почв отражают различные уровни ее организации, позволяют проводить анализ, как качественного состава, так и определять количественные характеристики. К ним можно отнести определение состава микроорганизмов, структуры микробоценоза, определение ферментативной активности, выявление функциональной активности микробиоты в пространственно-временном аспекте методами *in situ* (полевые методы). Комплексный анализ микробиотической компоненты почв позволяет проводить оценку современного состояния почв, делать корректный прогноз их развития при антропогенном воздействии. В задачи исследования входило изучение биологической активности почв и выявление индикаторов их состояния. Исследование проводили на территории заповедника «Кивач», расположенного в среднетаежной подзоне Карелии в сосновых древостоях. На территории заповедника в автоморфных условиях широко распространены подзолы иллювиально-железистые, подзолы иллювиально-гумусовые. Морфологический профиль подзолов иллювиально - железистых имеет следующий вид: O-E-BF-B2-BC-C. Хорошо развитая лесная подстилка дифференцируется на подгоризонты OL, OF, OH, имеет темно-бурый цвет. Подзолистый горизонт (E), самый светлоокрашенный в профиле почв, выражен в разной степени, мощность его варьирует в зависимости от гидротермических условий. Альфегумусовый горизонт (BF) коричневых или охристо-бурых тонов, хорошо диагностируется в профиле почв. Проводили анализ верхних (O) и минеральных (E, BF) горизонтов почв. Таксономический состав сапрофитного бактериального комплекса определяли методом посева на селективные твердые питательные среды. Проводили анализ бактерий, утилизирующих органические и минеральные формы азота. Устанавливали состояние бактерий олиготрофов и олигонитрофилов. Комплекс целлюлозолитических микроорганизмов исследовали на среде Гетчинсона. Данные по численности микроорганизмов, которые получили методом посева, выражали в числе КОЕ (колониеобразующие единицы) на 1 г сухой почвы. Для установления активной части микробиоты также проводили определение углерода микробной биомассы (Смик) и базального дыхания. Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ «КарНЦ РАН». Проведенные результаты показали, что микробиологические свойства почв наиболее четко проявляются в верхнем горизонте — лесной подстилке. Именно здесь процессы микробной трансформации органического вещества происходят наиболее интенсивно. Выявили высокую численность бактерий, использующих органические и минеральные соединения азота, группы олигонитрофилов и олиготрофов. Высокий коэффициент минерализации КАА/МПА в ферментативно-гумусовом подгоризонте почв свидетельствует о более глубокой минерализации органического вещества в данном подгоризонте почв по сравнению с вышележащими. В последнем данное соотношение сдвинуто в сторону превалирования микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота. В минеральных горизонтах почв численность исследуемых групп микроорганизмов резко снижалась, коррелировала с содержанием углерода и азота. Анализ целлюлозолитической активности почв (результаты посева и опытов *in situ*) подтвердил высокую микробиологическую активность верхних горизонтов почв, позволил установить период максимальной активности микробиоты. Полученные данные подтверждают вклад микроорганизмов в общий пул углерода почвы. В этой связи при проведении исследований в

области оценки секвестрации углерода почвами необходимо проводить анализ его микробиотической компоненты.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. №123030300031-6), а также в рамках госзадания КарНЦ РАН (Института леса).

УДК 634.0.114:581.526

ПИРОГЕННЫЙ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЙ ПОДГОРИЗОНТ В ПОЧВАХ СОСНОВЫХ ЗЕЛЕНОМОШНЫХ ЛЕСОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Надпорожская М.А.

СПбГУ, Санкт-Петербург, m.nadporozhskaya@spbu.ru

Леса России служат поглотителями углерода из атмосферы, содержат 34 из 500 миллиардов тонн углерода (С) глобальной наземной биомассы, причем на хвойные леса приходится более 25 миллиардов тонн (Исаев, Коровин, Замолотчиков, 2004). Запасы С в лесных почвах России могут быть недооценены (Shcherpashchenko et al., 2021). Для рационального природопользования актуально уточнить запасы С (или органического вещества, ОВ) в лесных почвах, сравнить используемые методы полевых и лабораторных работ, формулы пересчета С в ОВ. В частности, важно оценить также влияние лесных пожаров на запасы С в почве. Действие высоких температур приводит как к выводу С в атмосферу в виде CO₂, так и к формированию стабильных соединений С, известных как черный или пирогенный углерод (Сруг). Соотношение потерь и депонирования С зависит от вида лесного пожара (низового или верхового) и температуры горения. Сосновые (*Pinus sylvestris* L.) лишайниковые и зеленомошные леса наиболее пожароопасны, поскольку приурочены к возвышенностям, сложенным мощными песчаными отложениями (от 2 до 200 м и более) или скалами, с хорошим дренажем и глубиной залегания грунтовых вод более 2 м (Чертов, 1981). Общая площадь лесов в Ленинградской области составляет 4 667 000 га, 0,1 % из них приходится на недавно сгоревшие участки (<http://www.priroda.ru>, дата обращения: 05.05.2023). Лесные пожары играют важную роль в экологическом функционировании сосняков. Обычно в природе происходит 1-5 низовых пожаров за одно поколение сосновых древостоев. Около 98 % всех пожаров - это наземные пожары (Горшков, Ставрова, Баккал, 2005). Влияние человека в последнее время привело к увеличению частоты и масштабов лесных пожаров. Распределение Сруг в профиле почв сосновых лесов отмечено в морфологических описаниях, запасы и качество Сруг почти не изучены. В подзолах сосновых лишайниковых лесов республики Коми нижний слой лесной подстилки с большим количеством включений древесного угля выделен в качестве отдельного пирогенного органического подгоризонта Оеруг (Думов et al., 2022). В изученных нами почвах (подзолах и подбурах) сосновых зеленомошных лесов в Ленинградской области такой подгоризонт не формируется, но есть традиционно описываемый как подподстилочный верхний слой минерального горизонта (темноокрашенный за счет включений древесного угля), который мы изучили и назвали пирогенным органоминеральным подгоризонтом Еоруг (Nadporozhskaya et al., 2022, 2024). Обычно при исследовании генезиса почв пробы из таких тонких слоев (1-4 см) не отбирают. Так же недостаточно изучена часть подзолистого горизонта, окрашенная в серые тона разной интенсивности из-за наличия древесных углей. Индекс, отражающий наличие пирогенных включений, Еруг, используется при описании подзолов сосновых лесов (Думов et al., 2015). Объекты нашей работы – сосновые зеленомошные леса Ленинградской области (районы: Курортный, Лодейнопольский, Ломоносовский, Лужский, Приозерский). Определяли:

таксационные характеристики древостоя, видовое разнообразие живого напочвенного покрова, давность и вид лесного пожара. Локальные низовые пожары датированы по видовому составу напочвенного покрова и толщине годовых колец сосен. Лесные подстилки отбирали послойно, по подгорizontам (L, F, H), как и пирогенный органоминеральный подгорizont Еоруг, в пяти точках около базовых разрезов рамкой 25x25 см. Пробы минеральных горизонтов отбирали в пятикратной повторности из базового разреза.

Оценивали влажность и запасы влаги на момент пробоотбора, запасы ОВ (по потерям при прокаливании и С орг. (по Тюрину в модификации Никитина). Большая часть определений Сорг в отечественном почвоведении получена по методу Тюрина в его различных модификациях. Учитывая неполноту окисления Сорг серно-хромой смесью для расчета истинного содержания Сорг. И.В. Тюрин предлагал использовать повышающий коэффициент 1.17, который недавно был уточнен до 1.15 (Шамрикова и др., 2022). Для пересчета Сорг в ОВ традиционно используют умножение Сорг на 1.724, что предложил С. Шпренгель еще в 1837 г. для индивидуального препарата гуминовой кислоты (Пономарева, Плотникова, 1980, с. 59). Учитывая варьирование состава гумусовых веществ (ГВ), давно предложено Сорг умножать на более объективный коэффициент 2 (Тюрин, 1937; Пономарева, Плотникова, 1980; Орлов, 1985). Исходя из изложенного выше, итоговая формула пересчета Сорг по Тюрину на ОВ должна быть такая: $ОВ, \% = 2 * 1.15 * Сорг$. Формула расчета запасов С (или ОВ) в минеральном почвенном профиле лесных почв (Алексеев, Бердси, 1994): запас ОВ (т/га) = $ОВ * h * d$, где ОВ содержание в %; h – мощность почвенного горизонта; d – плотность сложения почвы. Необходим учет каменистости почв. Так же актуально уточнение определение содержания крупнозема крупнозема с учетом различия его размеров: более 1 или 2 мм.

Давность сплошных пожаров в изученных сосновых лесах варьировала от 60 до 140 лет, слабые низовые пожары были более 20 лет назад. По нашим оценкам запасы ОВ в изученных подзолах составляют в лесных подстилках 4.25 ± 2.43 и 2.86 ± 0.23 кг/м², в Еоруг 0.66 ± 0.44 и 1.17 ± 0.60 кг/м², в верхних 30 см минерального профиля 2.95 ± 0.20 и 1.78 ± 0.19 кг/м² для ключевых участков Толмачево и Молодежного, соответственно. Запасы ОВ в изученных подбурах составляют в лесных подстилках 4.43 ± 1.60 и 6.01 ± 0.66 кг/м², в Еоруг 2.14 ± 1.05 и 0.56 ± 0.12 кг/м², в верхних 30 см минерального профиля 3.00 ± 0.28 и 5.67 ± 0.40 кг/м² для ключевых участков Нижнесвирский и Петяярви, соответственно. Вклад подгоризонта Еоруг в запасы ОВ в лесной подстилке и верхних 30 см минерального профиля почв составляет от 9 до 22%. Сосновые леса составляют около 40% лесной территории Ленинградской области, что эквивалентно примерно 1867 тыс. га (Федорчук, Нешатаев, Кузнецова, 2005). Поскольку по нашим оценкам запасы ОВ в лесной подстилке и Еоруг составляют в среднем 4,2 и 1,2 кг/м², то запасы ОВ в почвах сосняков Ленинградской области будут составлять 78 и 22 млн т, соответственно. Наши результаты по оценке запасов ОВ в лесной подстилке согласуются с экспертными оценками 92 млн тонн, ранее проведенными для Ленинградской области (Алексеев, Бердси, 1994). Вероятно, и наша оценка запасов ОВ в Еоруг может быть реалистичной. Необходимы дальнейшие исследования для определения оценки запасов ОВ пирогенных органоминеральных подгоризонтах Еоруг и в пирогенных минеральных горизонтах Еоруг в хвойных лесах. Важно также изучение качества ОВ пирогенных частей почвенного профиля, стабильности этих запасов.

Работа финансирована по гранту РНФ 22-24-00690.

УДК 631.445.2:631.42:630*228:630*5:630*561.24

ПОЧВЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ И ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ МЕГАПОЛИСА ГОРОДА МОСКВЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХОДА РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСНЫХ ДЕНДРОЦЕНОЗОВ

Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Лебедев А.В., Шмакова К.А.

Лесному почвообразованию посвящено много работ, однако вопросы взаимодействия и взаимовлияния, существующие между почвой и лесным сообществом, остаются еще во многом, дискуссионным, что свидетельствует об актуальности этой проблемы. Слабо изучены и теоретически осмысленны закономерности генезиса и эволюции почв лесных биогеоценозов, обусловленных лесной растительностью. При исследовании влияние леса на почву, мы чаще всего не знаем, в каких условиях шел рост и развитие конкретного древостоя, как изменялся его состав во времени. Считается, что древостой произрастая длительное время на одном месте оказывает большое влияние и на почву. Лесная опытная дача РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (ЛОД) представляет собой уникальную лабораторию под открытым небом, где в течение длительного времени изучаются особенности роста древесных растений и где в естественных условиях можно проследить влияние различных древесных растений естественного и искусственного происхождения на состав и свойства дерново-подзолистых почв.

В нашей работе исследовались постоянные пробные площади IV квартала ЛОД под насаждениями различного состава: чистые хвойные и лиственные, смешанные, простые и сложные по форме древостои, различные по возрасту и происхождению (естественные и искусственные). Насаждения на большей части постоянных пробных площадей искусственного происхождения, простые по форме. Лесные насаждения четвертого квартала Лесной опытной дачи представлены, главным образом, лесными культурами сосны, возраст которых к настоящему времени превышает 130 лет. В 2022 году в IV квартале были выполнены лесотаксационные работы на пробных площадях с чистыми культурами сосны (4/А, 4/Б, 4/В, 4/Е, 4/Д, 4/Ж, 4/К, 4/Л, 4/М, 4/Н, 4/О) и со смешанными сосново-еловыми (4/Р, 4/С, 4/Т, 4/У, 4/Ф). На рассматриваемых пробных площадях наблюдается разрушение перестойных сосновых древостоев с внедрением в древесный полог широколиственных пород (липа, вяз, клен). Наиболее сильно второй ярус древостоя из клена выражен на пробных площадях 4/А, 4/В и 4/Е, где его запас составляет 61,84 и 66,00 м³/га соответственно. Более 20 % от запаса первого яруса древостоя широколиственные породы занимают на пробных площадях 4/Ж, 4/К, 4/Л и 4/У. В целом на всех рассматриваемых постоянных пробных площадях происходит процесс трансформации от существовавших ранее чистых хвойных древостоев к смешанным хвойно-широколиственным с формированием в будущем древостоев из широколиственных пород, так как в условиях Лесной опытной дачи отсутствует естественное возобновление хвойных пород. Территория IV квартала расположена на склоне моренного холма, северо-восточной экспозиции. Постоянные пробные площади расположены на среднеплейстоценовых по возрасту поверхностях, представленных субгоризонтальными поверхностями водно-ледниковой равнины. Почвообразующие породы – моренные отложения песчаного, супесчаного, легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава. Почвенный покров квартала представлен дерново-подзолистыми почвами, различающимися по степени появления дернового, подзолистого и глеевого почвообразовательных процессов и отражает характерную особенность лесных территорий – горизонтальную и вертикальную анизотропность. Особенностью формирования дерново-подзолистых почв, обусловлено историей. Первоначально ЛОД находилась в пригородной зоне, в настоящее время – почти в центре крупного мегаполиса г. Москва. Влияние города, рекреации проявляются в формировании относительно небольшой по мощности лесной подстилки, изреженности напочвенного растительного покрова, который представлен папоротником, осокой, кислицей и т.д. Подлесок: малина, черемуха, лещина. Подрост: клен, вяз, береза, дуб. Говоря о процессах почвообразования, следует отметить, что в условиях города более интенсивно проявляется дерновый почвообразовательный процесс и в большинстве дерново-подзолистых почв

формируется достаточно мощный гумусовый горизонт, что позволяет разделить его на две части: горизонт А₁ и более осветленную часть с меньшим содержанием гумуса горизонт А₁А₂. По строению, составу гумуса почвы ЛОД приближаются к серым лесным почвам. Мощность гумусового горизонта в почвах под чистыми хвойными насаждениями составляет в среднем 24 (19-26) см, под смешанными с преобладанием хвойных 26 (7-55) см, под смешанными с преобладанием лиственных 9 см, под чисто лиственными 16 (7-24) см.; содержание гумуса в горизонте А₁ соответственно 4,15 (3,08-6,21) %, 4,17 (2,86-4,85) %, 5,33 %, 4,15 (4,05-4,24) %.

Вопреки распространенному мнению, что под хвойными древостоями преобладает подзолистый процесс, в нашем случае мы имеем противоположную картину. Исследования мощности и глубины нижней границы подзолистого горизонта также показала специфику его проявления под древостоями различного состава на территории ЛОД. Мощность подзолистого горизонта в почвах под чистыми хвойными насаждениями составляет 18 (16-32) см, под смешанными с преобладанием хвойных 17 (0-32) см, под смешанными с преобладанием лиственных 26 см, под чисто лиственными 23 (20-25) см. Нижняя граница горизонта А₂ находится на глубине 47 (43-52) см, 51 (36-72) см, 44 см, 45 (44-45) см. соответственно составу древостоя. Одним из диагностических показателей подзолистого почвообразовательного процесса является характер распределения илистой фракции по профилю почв. Содержание ила в почвах под чистыми хвойными насаждениями в горизонте А₁ составляет 8,28 (3,11-11,56) % см, под смешанными с преобладанием хвойных 9,24 (2,10-17,98) %, под чисто лиственными 15,22%; в горизонте А₂ соответственно: 6,33 (4,68-10,35) %, 4,32 (3,43-10,00) %, 10,58%, в горизонте В 7,84 (4,36-14,27) %, 11,75 (6,84-15,11) %, 14,86 %, в горизонте ВС 9,71 (6,22-18,76) %, 13,06 (4,00-21,15) %, 116,23 %. Коэффициент дифференциации (КД) составляет в почвах под чистыми хвойными древостоями – 1,23, под смешанными с преобладанием хвойных – 2,71, под чисто лиственными – 1,40. Особенностью дерново-подзолистых почв ЛОД, является высокая плотность иллювиального горизонта. Являясь горизонтом вмывания, иллювиальный горизонт обогащен тонкими частицами, беден гумусом, что влечет за собой неблагоприятные физические свойства. При этом лучшими свойствами отличаются почвы под чистыми лиственными и смешанными с преобладанием лиственных пород, где иллювиальный горизонт располагается на большей глубине. По гранулометрическому составу преобладают легкосуглинистые разновидности почв, в отдельных профилях супесчаные и среднесуглинистые. Среди фракций механических элементов преобладают песчано-крупно-пылеватые и крупнопылевато-песчаные фракции. Различий в почвах по гранулометрическому составу постоянных пробных площадей не выявлено. Величина рН солевой вытяжки под древостоями различного состава в горизонте А₁ в среднем составляет величину 3,58 (3,46-4,05). По профилю величина рН солевой вытяжки также изменяется незначительно. Среднее содержание суммы обменных оснований в горизонте А₁ составляет в почвах под чистыми хвойными 8,86 (5,32-13,11), под смешанными с преобладанием хвойных 3,61 (4,20-15,83), под смешанными с преобладанием лиственных 8,79, под чисто лиственными 7,37 (5,00-10,74) м-экв. /100 г почвы. Гидролитическая кислотность в горизонте А₁ соответственно составляет 12,03 (10,53-13,10), 11,03 (4,20-9,57), 13,50 и 7,37 (5,00-9,74) м-экв. /100 г почвы. Дерново-подзолистые почвы ЛОД характеризуются низким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Почвы под чистыми хвойными насаждениями по обеспеченности фосфором и калием относятся к первому классу (Р₂О₅ - 37,09 и К₂О 37,16 мг/кг), под смешанными ко второму классу (Р₂О₅ - 51,71 и К₂О - 90,45 мг/кг), под чисто лиственными – к третьему классу (Р₂О₅ .119,25 и К₂О - 112,14 мг/кг).

УДК 631.4: 630*181.351

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПО ДАННЫМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Припутина И.В.¹, Шанин В.Н.^{1,2}, Фролов П.В.¹, Чумаченко С.И.^{2,3}, Тебенькова Д.Н.², Быховец С.С.¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, priputina@pbcras.ru;

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва;

³Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи

Прогнозирование динамики пулов и потоков углерода в почвах России приобретает особую актуальность в рамках поиска ответных мер на вызовы, связанные с изменением климата и развитием низкоуглеродной экономики. Инструментом разномасштабных оценок бюджета углерода являются процесс-ориентированные математические модели, использование которых позволяет рассматривать разные варианты хозяйственных и климатических сценариев в широком спектре почвенно-растительных условий.

Работа посвящена анализу динамики запасов углерода в почвах и других компонентах лесных экосистем при возможных изменениях климата на примере градиента зональных условий, репрезентативных для лесов европейской России (ЕТР). Объектами исследования выбраны 4 ключевых участка (КУ), соответствующие уровню локальных субъектов ведения лесного хозяйства: Прионежское и Пряжинское лесничества в Республике Карелия (подзона средней тайги), Воскресенское лесничество в Нижегородской области (южная тайга), Данковское участковое лесничество на юге Московской области (подзона хвойно-широколиственных лесов) и заповедник «Брянский лес» в Брянской области (подзона широколиственных лесов). Территории всех КУ разделены на таксационные выделы (от нескольких тысяч до десятка тысяч, площадью от 0,1 до 20 га), относительно однородные по возрастной структуре древесного яруса, его видовому составу и эдафическим условиям. Для всех КУ по литературным источникам сформированы наборы входных данных с начальными характеристиками запасов углерода ($C_{орг}$) и азота ($N_{общ}$) в почве с детализацией на уровне таксационного выдела, исходя из типа лесорастительных условий и доминант древостоя.

Для прогнозных оценок использованы динамическая модель многовидового разновозрастного древостоя FORRUS-S и модель динамики органического вещества и азота в почве Romul_Hum. Модель FORRUS-S вычисляет прирост запаса древесины на основе бонитетных таблиц хода роста лесообразующих пород ЕТР и позволяет рассчитывать биомассу по органам деревьев, включая оценки разных когорт опада. Входными данными для модели служат таксационные описания, пространственная структура выделов, сценарии лесохозяйственных мероприятий и др. Почвенная модель Romul_Hum позволяет вычислять минерализацию и гумификацию когорт наземного и подземного опада разного качества с оценкой пулов $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в лесной подстилке и органоминеральных горизонтах. Факторы, определяющие динамику ПОВ в Romul_Hum – гидротермические условия и качество опада (отношение C:N). Модель Romul_Hum дополнена статистическим генератором SCLISS, который позволяет рассчитывать средние месячные значения температуры и влажности подстилки и почвы в разных типах леса по данным метеорологических наблюдений.

Чтобы проанализировать региональные различия влияния климатических изменений на трансформацию биогенного круговорота и сток углерода, в качестве лесохозяйственного сценария для всех КУ рассмотрен режим заповедения (NAT) в течение 100 лет. Сценарии изменений климата соответствуют функционированию лесов при средней годовой температуре воздуха на 6.0°C (NAT_60) и 8.5°C (NAT_85) выше соответствующего регионального уровня реальных температур (NAT_00).

Согласно модельным оценкам, перевод лесов Прионежского и Пряжинского лесничеств в Карелии в режим заповедания ведет к нетто-поглощению углерода от 80 до 125 т га⁻¹ за 100

лет с максимумом в сценарии NAT_00. Расчеты показывают примерно равный вклад углеродных пулов почвы, мортмассы (подстилки и крупных древесных остатков) и древостоя в суммарный сток для сценария NAT_00, тогда как повышенные температуры в сценариях NAT_60 и NAT_85 ведут к снижению почвенных запасов $C_{\text{орг}}$ и мортмассы на фоне параллельного повышения пула углерода в древостоях (рисунок).

После перевода лесов Воскресенского лесничества в Нижегородской области в режим заповедание, их нетто-поглощение углерода во всех сценариях увеличивается примерно на 100 т га^{-1} за 100 лет. Вклад почв в сток углерода максимален в сценарии NAT_00 и снижается при повышении температур. Аналогичный тренд наблюдается для динамики запасов углерода в мортмассе, тогда как углеродный пул древостоя, напротив, возрастает.

Меньшие уровни стока углерода после перевода в заповедный режим показаны для лесов Данковского лесничества – от 40 до 75 т га^{-1} . Аккумуляция в почвах (в органоминеральной части профиля) показана только для сценария NAT_00, а для сценариев NAT_60 и NAT_85 модель прогнозирует потери первоначальных почвенных запасов $C_{\text{орг}}$. Повышение температур в условиях Южного Подмоскovie влияет и на снижение углеродного пула мортмассы, включающего органическое вещество лесных подстилок.

Для территории заповедника «Брянский лес» сохранение заповедного режима ведет к дополнительному нетто-поглощению около 75 т га^{-1} углерода за 100 лет. Повышение экосистемных запасов связано, в первую очередь, с накоплением $C_{\text{орг}}$ в почвах. Повышение температур по-разному влияет на углеродные пулы мортмассы и древостоя; вклад древостоя в экосистемный сток заметно возрастает в сценариях NAT_60 и NAT_85, что объясняется прогнозируемым ростом продуктивности насаждений.

Полученные модельные оценки свидетельствуют о региональных различиях отклика лесных экосистем, и прежде всего, лесных почв на прогнозируемые климатические изменения, связанные с ростом средних годовых температур.

Благодарности. Работа выполнена в рамках реализации ВИП ГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

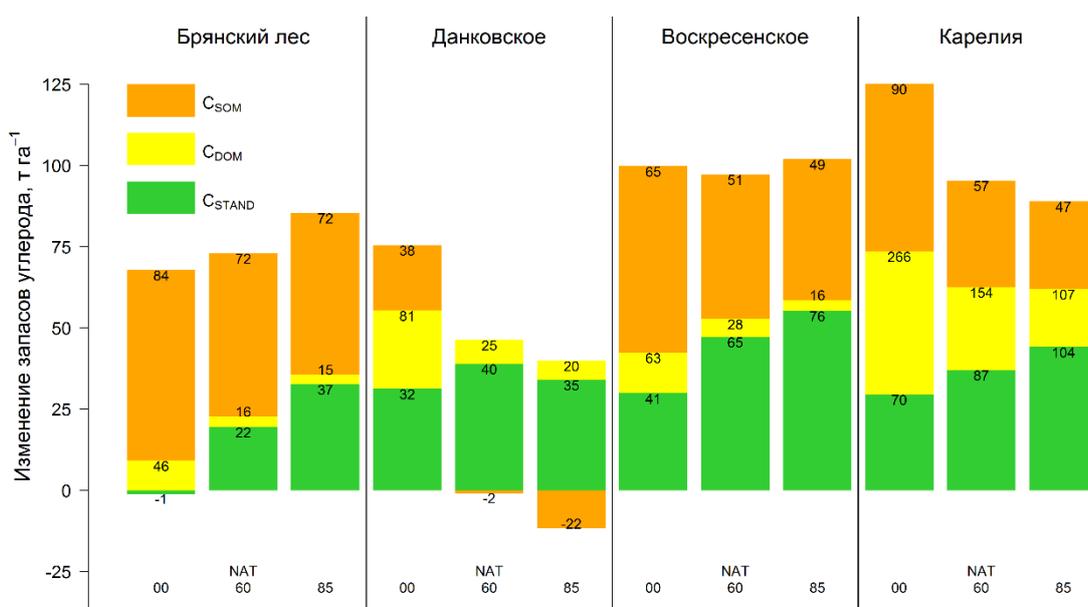


Рисунок. Изменение основных экосистемных пулов углерода за 100 лет при разных климатических сценариях (т га^{-1}): C_{SOM} – углерод органического вещества почвы, C_{DOM} –

углерод мортмассы, C_{STAND} – углерод фитомассы древостоя. Цифры в столбцах – относительное изменение (%) за 100 лет

УДК 574.42

ПОСТАГРОГЕННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЛЕСОВ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ: РАСТИТЕЛЬНОСТЬ, ПОЧВЫ, ПОЧВЕННАЯ МАКРОФАУНА И МИКРОБИОТА

Семенков И.Н.^{1,2}, Бавшин И.М.^{1,3}, Бондарь А.И.², Гаврилюк Е.А.¹, Герасимова М.И.², Гераськина А.П.¹, Енчилик П.Р.^{1,2}, Клинк Г.В.^{1,4}, Корнилова А.И.^{1,2}, Кузнецова А.И.¹, Смирнова М.А.², Терехова Д.А.^{1,2}, Титовец А.В.^{1,5}, Тихонов Д.Н.^{1,2}, Тихонова Е.В.¹, Хохряков В.Р.^{1,3,6}, Чеченков П.Д.^{1,2}, Шопина О.В.^{1,2},

¹ЦЭПЛ РАН, Москва

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, semenkov@geogr.msu.ru

³Национальный парк «Смоленское Поозерье», Пржевальское

⁴ИППИ РАН, Москва

⁵Институт лесоведения РАН, Москва

⁶ Национальный парк «Себежский», Псков

По итогам тематической обработки спутниковых изображений и исторических картографических материалов в пределах национального парка «Смоленское Поозерье» выбраны наземные пробные площади на выровненных поверхностях междуречья с нормальным увлажнением (автономные элювиальные ландшафты), удаленные от локальных понижений рельефа с постоянными или временными водотоками и водоёмами, для выявления агрогенной метки в структуре и свойствах компонентов (растительности, подстилки, почв, почвенной макрофауны и почвенного микробоценоза) экосистем трех хроносери́й восстановления сосновых, еловых и хвойно-широколиственных лесов. Под «агрогенной меткой» мы понимаем совокупность характеристик в составе, функционировании и иных особенностях растительности, животного мира и почвы, которая отражает влияние сельскохозяйственного воздействия на экосистемы. В каждой хроносери́и выделено 8 стадий.

Стадии 0 соответствуют агроценозы или 1 – 2 летние залежи на (су)песчаных агрозёмах серогумусовых и суглинистых агро-дерново-подзолистых почвах.

Стадии 1 свойственны луга на реградированных (су)песчаных агроземах серогумусовых и суглинистых агро-дерново-подзолистых почвах со сплошной подстилкой, ещё не дифференцированной на подгоризонты. На двух начальных стадиях всех трёх хронорядов преобладает макрофауна органо-минеральных и минеральных горизонтов: собственно-почвенные дождевые черви и личинки пластинчатоусых жуков. Далее восстанавливается фауна органогенных горизонтов, среди которой высока доля сапрофагов – подстилочных и почвенно-подстилочных дождевых червей, способствующих дифференциации подстилки на подгоризонты. Биомасса сапрофагов отрицательно коррелирует с запасами углерода в минеральной части лесных почв, его запасами в подстилке и мощностью подстилки.

Стадии 2 соответствуют молодые (возраст древостоя до 30 лет) сосняки на песчаных агроземах реградированных или одноярусные березняки на реградированных супесчаных агроземах или агро-дерново-подзолистых почвах со сплошной подстилкой, состоящей из двух подгоризонтов. На этой стадии «луговой» тип растительности и почвенной макрофауны сменяется «лесным» во всех трех хроносери́ях, а в суглинистых почвах «агрогенный» тип почвенного микробоценоза сменяется «агро-лесным».

Стадия 3 по многим показателям является хроноэкотон, так как в свойствах компонентов экосистем ещё сохраняются признаки, характерные для агрогенного этапа развития территории, и уже ярко выражены признаки, свойственные лесным экосистемам. Здесь выявлены средневозрастные леса с более зрелым (30 – 70 лет) древостоем, аналогичным по

составу, встреченному на стадии 2, и аналогичными реградированными почвами, подстилка которых может состоять уже из трех подгоризонтов. Элювиальный горизонт текстурно-дифференцированных почв приобретает желтоватый оттенок за счет прокраски органоминеральными веществами, поступающими в него при деградации старопахотного горизонта. На этой стадии, в 50-летних лесах, в сосновой и еловой хроносерии «луговой» тип почвенного микробиома и сменяется «лесным».

Стадии 4 соответствуют средневозрастные (60 – 80 лет) леса на постагrogenных почвах – сосняки на агроземах, елово-березовые леса на супесчаных почвах и березняки с разнообразным составом второго яруса (преимущественно широколиственные породы и ель) на суглинистых (агро)дерново-палево-подзолистых почвах.

Стадии 5 свойственны старовозрастные (сосняки, ельники и лиственные) леса с преимущественно одновозрастным (от 80 лет) древостоем на постагrogenных песчаных, супесчаных и суглинистых почвах соответственно без ярко выраженной оконной структуры. Начиная с этой стадии, в почвах под хвойными лесами подстилка всегда состоит из трех хорошо выделяемых и достаточно мощных подгоризонтов. Под хвойно-широколиственными лесами подстилка существенно менее мощная и может состоять всего из двух горизонтов.

Стадии 6 также соответствуют старовозрастные (от 80 лет) леса, но обязательно с разновозрастным древостоем, хорошо выраженной оконной структурой и большим количеством крупномерного валежа разных стадий разложения на постагrogenных почвах, распаиваемых последний раз не позднее начала XX века. Наличие бывлой распашки в почвах лёгкого гранулометрического состава реконструируется по неестественно большой мощности гумусового горизонта и подтверждается картографическими данными конца XVIII – конца XIX века. В нераспаиваемых почвах серогумусовый горизонт отсутствует или имеет мощность до 15 см. Глубина современной и бывлой распашки в пределах Смоленского Поозерья преимущественно 30 – 40 см. В суглинистых почвах сохраняется неестественно ровная граница в гумусовом или в ожелезнённом элювиальном горизонте, резко сменяющимся белесым элювиальным. Микробиом суглинистых почв становится «истинно лесным».

Стадии 7 свойственны старовозрастные леса с хорошо выраженной оконной структурой и обилием разновозрастного крупноразмерного валежа на песчаных подзолах и суглинистых (дерново-)подзолистых почвах, в которых отсутствуют признаки бывлой распашки и подтверждается существованием леса на этой территории по всем имеющимся картографическим материалам, как минимум с конца XVIII века – Планам генерального межевания.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-74-20171).

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПОСЛЕ СПЛОШНОЙ РУБКИ ПРИ РАЗНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ (СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Старцев В.В., Севергина Д.А., Дымов А.А.

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, yik.startsev@gmail.com

Почвы являются ключевым компонентом экосистем, который содержит 2/3 органического углерода нашей планеты. Проведение рубок главного пользования приводит к существенному изменению лесного покрова, лесных почв и почвенного органического вещества, в том числе запасов углерода и азота. Углерод (C_{bc}) и азот (N_{bc}) водорастворимых соединений играют важную роль в глобальном круговороте элементов. Водорастворимый углерод является одним из наиболее активных и подвижных источников углерода. Понимание закономерностей изменения почв и почвенного органического вещества при современном ведении лесозаготовительных работ необходимо для оценки масштаба

нарушений и современной смены естественных сообществ, биогеохимическая значимость углерода обуславливает необходимость всестороннего изучения его биологического круговорота.

Цель исследования – оценить изменения запасов углерода и азота в почвах после сплошной рубки леса.

Объекты располагались на территории Сыктывдинского района Республики Коми в хвойно-лиственном насаждении, которое было вырублено. На исследуемой площадке был заложен почвенный разрез до рубки (2020 г.) и разрезы на пасечном участке спустя год, два и три после рубки (2021-2023 гг.). Кроме этого, для оценки разной техногенной нагрузки были заложены волокна с тремя проходами форвардера (3П), с десятью проходами форвардера (10П) и с десятью проходами форвардера и последующим выравниваем (10Р). Химический анализ почв проводили в аккредитованной экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Содержание углерода и азота в образцах определяли на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba). Содержание водорастворимых фракций углерода ($C_{вс}$) и азота ($N_{вс}$) определяли на анализаторе TOC-VCPN (Япония, Shimadzu) с модулем TNM-1. Запасы углерода и азота оценивали до глубины 0-50 см. Расчёт запасов проводился для каждого выделенного генетического горизонта, затем суммировался.

В результате проведенных исследований установлено, что рубки могут непосредственно влиять на запасы различных форм углерода и азота в почвах при разной техногенной нагрузке. Расчёт запасов показал, что в подзолистой почве исходного леса (ИЛ) аккумулируется $3,8 \text{ кг/м}^2$ – по 50% от общих запасов приходится на минеральные и подстилку (Рисунок). Установлено, что после рубки происходит увеличение запасов углерода и перераспределение вклада минеральных горизонтов в общие запасы. После рубки запасы углерода и азота в почве пасечного участка варьировали от $4,5$ до $5,8 \text{ кг/м}^2$, а вклад минеральных горизонтов увеличился и составил от 57 до 76%.

Запасы углерода водорастворимых соединений в почве исходного леса составляли $0,095 \text{ кг/м}^2$, что составляет 3% от запасов общего углерода. После рубки установлено достоверное ($R^2=0.96$) увеличение запасов $C_{вс}$ от $0,169$ до $0,280 \text{ кг/м}^2$ или 4-6% от общих запасов.

В почвах волоков, подвергшихся механическому воздействию, также наблюдается увеличение запасов углерода. Для почвы волокна с тремя проходами колесной техники запасы углерода варьировали от $4,9$ до $5,3 \text{ кг/м}^2$ (запасы $C_{вс}$ – $0,078$ - $0,925 \text{ кг/м}^2$). Максимально высокие запасы углерода и азота выявлены для почвы 10П, для которой характерно перемешивание подстилки и верхних минеральных горизонтов. Запасы в почве 10П составляют $5,1$ - $12,9 \text{ кг/м}^2$ с достоверным увеличением по годам после рубки ($R^2=0.85$).

В почве 10Р основная часть подстилки и порубочных остатков были удалены с поверхности, поэтому запасы варьируют от $1,9$ до $5,8 \text{ кг/м}^2$. Аналогичные закономерности выявлены и для водорастворимой фракции углерода – увеличение запасов от $0,074$ до $0,234$ в почве 10П и от $0,070$ до $0,362 \text{ кг/м}^2$ в почве 10Р.

А

Б

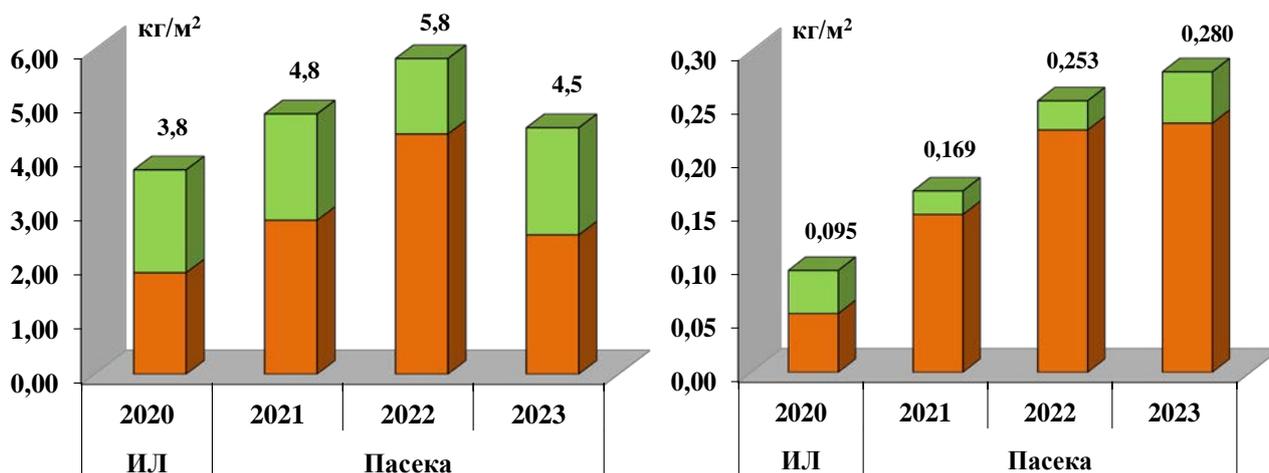


Рисунок. Запасы общего (А) и водорастворимого (Б) углерода в исследованных почвах. ИЛ – исходный лес.

Таким образом, проведенное исследование позволило установить закономерности увеличения запасов как общих углерода и азота, так и их водорастворимых фракций в почвах после рубок и при разной интенсивности механической нагрузки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-74-10007, <https://rscf.ru/project/23-74-10007/>.

УДК 631.4

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ МИГРАЦИИ В ПОЧВАХ ПИРОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НОВГОРОДСКОЙ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Чебыкина Е.Ю., Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, e.chebykina@spbu.ru

Воздействие различных природных (ветровалы, вспышки численности вредителей), природно-антропогенных (пожары) и антропогенных (лесозаготовки) явлений вызывает демулационные смены в естественных экосистемах. Важным фактором, нарушающим ход естественных процессов в биогеоценозах, являются лесные пожары, последствия которых трудно прогнозируются. Процессы пирогенеза являются широко распространенным явлением, оказывающим огромное влияние на процессы почвообразования, что заставляет обращать на них особое внимание при исследовании природных экосистем.

Именно лесные пожары в настоящее время признаются одним из самых значительных факторов, определяющих активную миграцию химических элементов на земной поверхности, ежегодная пылевая и аэрозольная эмиссия которых количественно сопоставима с выбросами вулканов. Среди пирогенных выбросов высокая роль принадлежит различным органическим и неорганическим соединениям, химическим элементам, включая тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и радионуклиды, находившимся в почве, подстилке, коре и древесине деревьев. Осаждение их на новых местах, несомненно, должно изменять геохимический фон почвенно-растительного покрова – вместе с аэрозольными частицами эти вещества могут переноситься на тысячи километров. Постоянно обнаруживаемое присутствие во всех компонентах лесного биогеоценоза тяжелых металлов и участие их в различных биогеохимических процессах не может не сказаться на трансформации форм их нахождения под воздействием высоких температур лесного пожара. Поэтому целью данной работы была геохимическая оценка содержания тяжелых металлов и закономерности их миграции в почвах пирогенных ландшафтов на

примере лесных экосистем Новгородской и Ленинградской областей на Северо-Западе России.

Авторами в 2022 и 2023 гг. проводились исследования постпирогенных почв в южно-таежной зоне на примере двух объектов: территория Боровичского лесничества (44 квартал Перелучского участкового лесничества) в Новгородской области – воздействию пожаров 2021 года был подвержен верхний слой моховой подстилки, общая площадь возгорания 13,8 га; и участок в Громовском участковом лесничестве Приозерского лесничества (131 квартал, 4 выдел) недалеко от посёлка Лосево, который горел в июне 2023 г., площадь возгораний – 0,5 га.

Три почвенных разреза по катене (вершина камы, склон и аккумулятивная позиция) были заложены на постпирогенном участке обоих объектов и один для контроля – на негорелом. В качестве контроля использовали аналогичный участок лесной экосистемы с таким же типом почв, но не подвергавшиеся горению.

Почвы на участке исследований в Новгородской области представлены подзолом иллювиально-железисто-гумусовым на камовых супесях с типичным строением профиля O–Eh–ВНF–BC–C. Воздействию низового беглого пожара был подвержен верхний слой моховой подстилки. Почва пирогенного участка представлена подзолом иллювиально-железистым постпирогенным на камовых супесях со строением профиля Qруг–E–BF–BC–C. Следует отметить, что постпирогенные почвы слабо укладываются в рамки существующих почвенных классификаций. Визуальное изучение обнаружило существенные различия основных характеристик верхнего органогенного горизонта - лесной подстилки - на пройденных пожарами и контрольном участках. Прежде всего, это касается мощности, заметно уменьшившейся в результате частичного сгорания подстилки, а также цвета ее поверхности, который после пожара стал заметно темнее. Верхняя часть почв постпирогенной сукцессии представлена поверхностными органогенными горизонтами, сохраняющими следы пирогенного воздействия – сгоревший моховой очес. У постпирогенной почвы в аккумулятивной позиции на постпирогенном участке поверхность представлена оторфованной лесной подстилкой. Наличие углистых частиц визуальное диагностируется на границе органогенного и подзолистого горизонтов. В нижней части профиля почвы имеют типичное для подзолов строение.

Почвы на участке исследований в Ленинградской области представлены подзолом иллювиально-железистым на завалуненных камовых флювио-гляциальных песках с типичным строением профиля O–E–BF–BC–C. Почва пирогенного участка представлена подзолом иллювиально-железистым постпирогенным на камовых супесях, слабоподзоленным в аккумулятивной позиции, со строением профиля Qруг–Eруг–BF–BC–C. В целом, изученные почвы Ленинградской области по морфологическому описанию и степени воздействия лесных пожаров похожи на почвы Новгородской области, однако в данном случае пирогенное воздействие устойчиво проявляется вплоть до подзолистого горизонта. Подстилки более плотные и представлены продуктами частичного горения растительных остатков, древесины, перемешанными со свежим растительным опадом и прослойками углей.

Многочисленные исследования транслокации тяжелых металлов в послепожарных почвах ясно указывают на высокую скорость миграции металлов, в основном в первые годы после пожара. В настоящем исследовании отмечены важные изменения в содержании тяжелых металлов в поверхностных слоях исследованных почв. Эти изменения были заметны для всех проанализированных элементов, особенно для в случае свинца и цинка. Статистически значимые различия наблюдались для всех тяжелых металлов между контрольной и пирогенной почвами. Характер распределения всех изученных тяжелых металлов по профилю, за исключением кадмия, - элювиально-иллювиальное с минимальным содержанием в подзолистом горизонте.

На постпирогенных участках имеет место вынос из горелых площадей тяжелых металлов, что является положительным моментом в аспекте влияния пожаров на почвы. Относительное снижение содержания меди, цинка и кадмия в почвах после пожаров на вершине камового холма по сравнению с контролем составляет от 1,17 до 1,74 раз. Содержание никеля и свинца незначительно повышается в постпирогенной почве на вершине – в 1,5 раза. Для всех тяжелых металлов выражена их миграция по катене с учетом ландшафтно-геохимических позиций: содержание тяжелых металлов минимально на склоновой позиции и максимально – в аккумулятивной, что еще раз подтверждает активизацию эрозионных процессов после пожаров.

Пожар вызывает повышение реакции почвы и увеличение запасов и концентрации тяжелых металлов, преимущественно в поверхностных слоях, что показывают рассчитанные коэффициенты радиальной дифференциации (R). В большинстве объектов содержание цинка и свинца подвижного превышало ПДК, установленные санитарными требованиями к качеству почвы, в верхних горизонтах вне зависимости от пожара. Промывной тип водного режима изученных почв песчаного и супесчаного гранулометрического состава обеспечивает активную радиальную водную миграцию веществ в профилях изученных почвенных разрезов. Этим объясняется пониженное содержание элементов в горизонтах E, в котором рассеяны (R варьирует от 0,1 до 1) практически все рассмотренные элементы, за исключением Cd. Пожар является причиной выноса и накопления химических элементов, среди которых есть токсиканты первого и второго класса опасности.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены интересные данные о влиянии лесного пожара на свойства почв в пределах репрезентативных участков, в частности содержание тяжелых металлов, которые могут служить научной основой для дальнейшей разработки программ борьбы с лесными пожарами и их последствиями. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 23-16-20003.

Работа посвящена 300-летию Санкт-Петербургского государственного университета.

УДК 630*114.351:630*114

ПОСТУПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА С РАСТИТЕЛЬНЫМ ОПАДОМ В ПОЧВЫ НАГОРНЫХ ДУБРАВ И СОСНОВЫХ БОРОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Шешнищан С.С., Шешнищан Т.Л., Голядкина И.В.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф.

Морозова», Воронеж, sheshnitsan@gmail.com

Растительный опад является основным источником поступления углерода и азота в почву, играя важнейшую роль в биогенном круговороте элементов. Этот процесс также способствует повышению общего плодородия почв и их продуктивности, что делает растительный опад важным компонентом функционирования лесных экосистем. Кроме того, качество и количество поступающих в почву растительных остатков может варьировать в зависимости от видового состава фитоценоза, климатических и эдафических факторов.

Накопление опада в лесной подстилке и его постепенное разложение способствует аккумуляции углерода в почвах, что обеспечивает его долговременную секвестрацию. Все это определяет актуальность изучения влияния растительности на свойства лесных почв и ее потенциальное значение для достижения устойчивости лесными экосистемами.

Лесные экосистемы лесостепного экотона оказываются одними из наиболее уязвимых типов экосистем к неблагоприятным последствиям изменения климата, которые влияют на их продуктивность, поглощение и эмиссию углерода, трансформируют углеродный баланс. К таким экосистемам относятся типичные для Центральной лесостепи Русской равнины дубравы и реликтовые сосновые боры.

Настоящее исследование посвящено оценке поступления биогенных элементов – углерода и азота – с растительным опадом, накопления их в подстилке, а также изучению годового разложения листового опада и аккумуляции элементов в лесных почвах нагорной дубравы и соснового бора в условиях Центральной лесостепи Русской равнины.

Исследованием охвачены наиболее распространённые типы лесорастительных условий в лиственных и хвойных лесах: дубрава осоково-снытевая (C₂D) возрастом 100 лет и сосняк травяной с дубом (B₂) в возрасте 105-140 лет. Наибольшее распространение в нагорной дубраве имеет парцелла *Acer platanoides* + *Quercus robur* - *Corylus avellana* - *Carex pilosa*, а в условиях боровых ландшафтов преобладают две сходные парцеллы: *Pinus sylvestris* - *Calamagrostis epigeios* - *Dicranum undulatum* и *Pinus sylvestris* - *Poa nemoralis* - *Dicranum undulatum*. В дубраве диагностированы серогумусовые глееватые бескарбонатные маломощные супесчаные почвы на аллювиальных песчано-супесчаных отложениях, а в сосновом бору почвы представлены серогумусовыми иллювиально-ожелезненными бескарбонатными маломощными супесчаными и гумусово-гидрометаморфическими типичными бескарбонатными мелкими супесчаными почвами на аллювиальных песчано-супесчаных отложениях. На постоянных пробных площадях изучалась динамика поступления опада, скорость его разложения в течение года, а также запасы лесной подстилки и содержание углерода и азота в мортмассе и почвах. Определение содержания биогенных элементов (С, N) осуществляли по единой методике методом сухого высокотемпературного сжигания на элементном анализаторе ECS 8024 NC Soil Special. Результаты исследований показали, что за август – ноябрь 2023 года с опадом поступило 258,2 тС/га и 7,9 кгN/га в дубраве и 134,4 тС/га и 1,5 кгN/га в сосновом бору. Это свидетельствует о значимых различиях как в продукции органического вещества, так и соотношении фракций опада и содержания в них биогенных элементов. Так, если в дубраве основную массу – до 82% составляет лиственный опад со средним содержанием С 41,3% и N 1,32% (соотношение С:N составляет 33,7), то в сосновых лесах на долю опада хвои/листьев приходится не более 72% со средним содержанием С 47,1/44,2% и N 0,50/0,80% (соотношение С:N составляет 101,5/56,7).

Существенные различия в соотношении биогенных элементов в опаде влияют на скорость его разложения. Известно, что опад в хвойных лесах обычно разлагается медленнее из-за более высокого содержания лигнина, что может привести к накоплению органического вещества и в конечном итоге повлиять на доступность питательных веществ и структуру почвы. Так за годовой цикл разложения хвойный опад потерял 65,6% углерода и 48,0% азота. Лиственная подстилка, напротив, разлагается активнее, быстрее высвобождая питательные вещества в почву. Однако среди лиственных пород трудноразлагаемым оказался опад дуба, потерявший 73,3% углерода и 48,7% азота. В то же время для липы и клёна скорость разложения оказалась более высокой, и потери углерода из мертвых растительных остатков превысили 85%, а азота достигли 76,5% и 81,0% при разложении листового опада липы и клёна соответственно.

Разные темпы разложения опада определяют различные запасы лесной подстилки в лесах. Соотношение углерода и азота в растительной подстилке лесов может влиять на скорость разложения и доступность питательных веществ в почве. Высокое соотношение углерода и азота может замедлить процесс разложения, что приведет к накоплению органического вещества в лесной подстилке. Так, в хвойных лесах средние запасы подстилки оцениваются в 14488 кг/га при вариации от 24380 кг/га в приствольных микросайтах до 9224 кг/га – в межкروновых. Среднее содержание углерода в таких подстилках достигает 46,4%, а азота – 1,22% при С:N = 38,5, а запасы биогенных элементов в подстилке – 6721 кгС/га и 177 кгN/га. Запасы подстилки в дубраве ниже – 10048 кг/га, имеют сходные величины в приствольных (10692 кг/га) и подкروновых (9404 кг/га) микросайтах. Запасы углерода в лиственной подстилке дубравы в 2,4 раза ниже, чем в хвойных лесах и составляют 2831 кгС/га при

содержании углерода 28,2%. Запасы азота в среднем не превышают 99 кгN/га при содержании азота 1,0% (C:N = 28,2).

В условиях квазиклиматических лесных экосистем разного типа на одной и той же почвообразующей породе сформировались серогумусовые почвы, заметно отличающиеся по содержанию биогенных элементов. Так, если в верхнем 30-сантиметровом слое лесных почв дубравы содержание общего углерода в среднем составляет 1,83%, а общего азота – 0,03% при запасах общего углерода 115 тC/га, то в сосновых борах при среднем содержании в слое 0-30 см общего углерода 0,95% и общего азота 0,04% средние запасы общего углерода более чем в три раза ниже (34 тC/га), чем в лиственных лесах.

Результаты исследования доказывают ведущую роль лесной растительности в почвообразовательном процессе и депонировании углерода в лесных почвах. Это подчеркивает важность сохранения старовозрастных лесных экосистем для смягчения последствий изменения климата и сохранения биоразнообразия.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 123102700029-3 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)»

(J) ПОДКОМИССИЯ. ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

REMEDIATION OF POLLUTED WATER BY BIOCHAR SORBENT USING MICROFLUIDIC TECHNOLOGIES

Rajput P.

Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, Russia

Correspondence: priyadarshanirajput22@gmail.com

The environmental quality especially soil and water systems are affecting or polluting by rapidly increasing industrialization and other technogenic activities. Releases of contaminated water in environment pollutes ground or surface water, and accumulate in soil, thus, the soil is becoming sink of these toxic elements that worsen its properties, resulted reduced soil fertility. Removal of pollutants from the industrial wastewater is a global issue, affecting millions of livelihoods directly/indirectly. Therefore, there is an urgent need to develop an eco-friendly technology to eliminate toxic elements from wastewater.

The present work aimed to integrate the modern laboratory methods and synchrotron based analytical approaches, using emerging adsorbents, and microfluidic technologies to optimize and enhance the sorption of toxic elements from synthetic and industrial water. The series of experiments were performed at The Smart Materials Research Institute and Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia) and at Synchrotron Research Centre (NRC), Kurchatov Institute (Moscow, Russia). Adsorbents such as biochar, commercial charcoal, and a mixture of different fractions (zeolite-Y, MOF: UiO-66-NH₂, coconut charcoal) of various sorbents were tested. Our own laboratory synthesized metal organic framework (MOF), i.e., UiO-66-NH₂ and ZIF-8 were also used. The efficient sorbents were filled inside the microfluidic chip and online treated water quality monitoring were performed using the UV-vis spectroscopy. The filtered water samples were analysed by atomic absorption spectrometry (AAS) and using conductivity device ex-situ/in-situ mode.

Both, AAS and conductivity analysis results showed a bigger fraction of zeolite-Y which worsen the performance of Pb adsorption. At the same time, bigger fraction of coconut charcoal performed worse for Ni, while for MOF: UiO-66-NH₂, it was vice-versa. For Zn, coconut charcoal showed significant performance, and for Cu and Cd, charcoal performed better than MOF: UiO-66-NH₂. All mixtures performed well for Pb ion adsorption. The spatial distribution of elements performed by X-ray fluorescence in the used filters showed higher concentration of ions at the edges of filters, explained by the different flow rate due to the friction from the microtube walls. XANES data collected at Kurchatov Institute indicated Pb²⁺ as the most abundant species in the used filters (fig. 1).

The low-cost microfluidic setup worked successfully for water filtration of polluted water. Thus, the repeated number of experiments were conducted to standardized technique. The X-ray based techniques, namely XANES and XRF provided the exact oxidation state of Pb, as a most abundant elements in industrial wastewater. The special distribution of the adsorbed ions in the used filters, which is important for optimizing the filter composition and geometry for realistic implementation showed expected results. The UV-Vis spectrometry was applied in experiment to produce rapid results online and offline mode. This is low cost and precise technology to detect and eliminate water contaminants, rapidly and precisely.

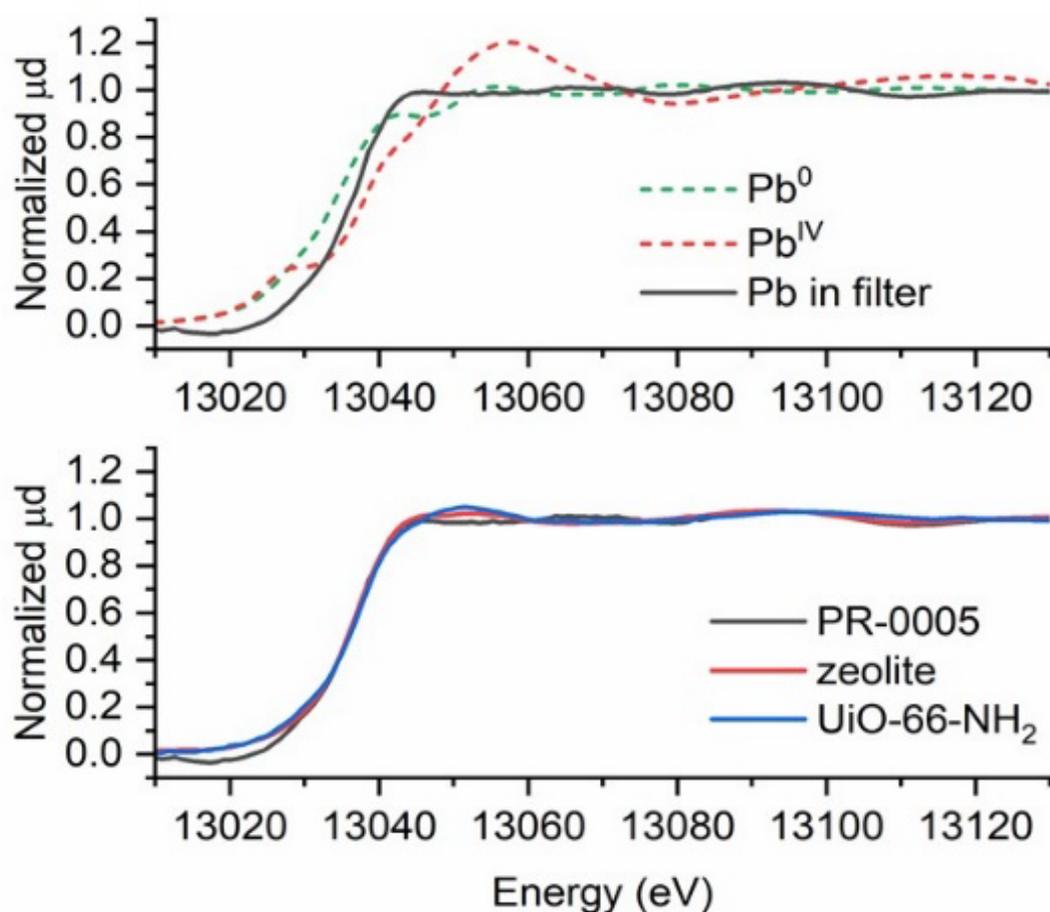


Figure 1. Lead L₃-edge XANES data for used filters and reference samples

With the mass control, time control as well as concentration control of model and industrial wastewater, 3D microfluidic chip dimension control parameters, experiments revealed high efficiency of 3D printed microfluidic chip and enhanced adsorption capacity of sorbents to remove heavy metal ions. However, more attention is required to using efficient adsorbent combinations, in-situ/ex-situ application, testing on various types of wastewaters and level of concentration, development of efficient automatic filtration chambers, novel microfluidic chips, integrated use of modern techniques and standardization of various sorbents in eco-friendly, cost-effective, and sustainable way. Further, the efficient fractions of sorbents could be integrated with metal nanoparticles, tolerant microbes or enable to form biofilms for more effective water remediation. Acknowledgements: The study was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University ("Priority 2030").

IMPACT OF BIOCHAR AND METAL TOLERANT BACTERIA ON BARLEY GROWTH IN SOILS POLLUTED WITH ZINC OXIDE NANOPARTICLES

Rajput V.D., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Bauer T.V., Gorovtsov A.V., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N.

Soil Science and Land Resource Assessment Department, Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Correspondence: rvishnu@sfedu.ru; rajput.vishnu@gmail.com

Due to rapid industrialization and anthropogenic activities, soils are getting huge amount of toxic elements, those are disturbing soil microbial community and hamper bio/geochemical activities or produce toxic pollutants, several new stresses are imposed to crop production. With the new hope,

one of the most important inventions of the twenty-first century is synthesis of nanomaterials. Nanomaterials have the potential to expand current agricultural practices in various ways and enable sustainable crop production by enhancing management and conservation technologies. It also helps to reduce agricultural inputs such as nutrient loss via enhancing nutrient use efficiency. Nanoparticles are extremely fine particles with sizes ranging from 1-100 nm in at least two of their dimensions. At this scale, nanoparticles exhibit appreciably unique characteristics, enhanced chemical reactivity, physical, and biological properties. However, it is also becoming an environmental concern due to their rapidly increasing applications in agriculture and other allied sectors. Soil structure maintenance, nutrient cycle, and carbon transformations are the important processes which play a significant role to maintain soil health, fertility, and its productivity. These processes mainly depend on soil microbial community and their functionality, and bio/geochemical activities. In larger extent, soil microbial community; especially soil microbiome plays a crucial role in plant growth via enhancing nutrient availability. In other hand, cultivated land is getting polluted by various emerging toxic elements and impose stress to the plant growth via damaging morphological, physiological, anatomical, biochemical, and molecular indices. Biochar, a well-known carbon-rich material produced by pyrolysis, has recently been demonstrated promising results for sustainable agriculture. As a soil amendment, biochar can enhance plant growth and improve soil health and could be a promising method to manage environmental stresses such as heavy metals with the help of microbes. In biochar structure, there are enough pores, large enough to be colonized by microbes. Nano-enhanced materials have potential to increase soil quality indices, microbial functionality, and crop yield, while ensuring environmental sustainability. The addition of nano-enhanced materials to agriculture, undoubtedly shown promising positive outcome and proven via various laboratory and field experiments. Input of nano-enhanced materials in agriculture could manipulate rhizospheric microbiome or agriculturally important microbes and may enhance their functionality to increase the effectiveness with which facilitate the availability of nutrients to plants, improve root systems, and crop growth in general as noted in earlier findings which open new window for soil health improvement as well. However, excess use of nanomaterials in agri-ecosystem might hamper the soil biota, and soil could be a sink of these tiny particles. The long-term behavior of these particles in soil system is still unknown. Therefore, it is necessary to know the most effective doses/concentration of applied nano-enhanced materials for their efficient utilization. Thus, in the present work high dose of ZnO nanoparticles was considered, and alleviation of toxicity on barley growth was noted via using metal tolerant bacteria and biochar. Zinc is an essential micronutrient for plants and essential for optimal soil fertility. Its application in agriculture as nanoparticles is challenging and has gained enormous significance.

Considering the importance of soil microbiome, the study was conducted to alleviate the toxicity of high dose of ZnO nanoparticles (2000 mg/kg). The metal tolerant bacterial consortium was applied layer wise in the ZnO nanoparticles polluted soil. The soil was spiked with nanoparticles for a month and then the barley seeds were grown. The selective strains of microbes exhibit ability to cope up ZnO nanomaterials stress and help the barley grow in contaminated soil. A combination of biochar (2.5%) and microorganisms (metal-tolerated strains, i.e., *Bacillus subtilis* TR 1.5, *B. pumilus* TR 3.1, and *B. cereus* 20.1, isolated from polluted Technosols of the dried lake Atamanskoe, Rostov-on-Don, Russia by collecting samples from the depth of 0-5 cm) were used.

Recent experimental results indicated the beneficial impacts of ZnO nanoparticles on crop production and the functionality of soil microorganisms. However, the higher doses of nanomaterials showed various toxic and detrimental effects on plants and soil organisms, and rapid applications of ZnO nanoparticles is increasing its concentration in soil. Zinc based nanoparticles are also widely added in several other industrial products which ended in soil system and increasing concentration. Therefore, it can be concluded that soil is becoming a sink of these tiny particles. Considering the role of biochar and metal tolerant microbes, the experiment was performed in haplic chernozem using ZnO nanoparticles as a pollutant. Combination of biochar and bacteria for remediation purpose to harvest increased plant biomass were utilized. The collected soil was

polluted with high concentration of ZnO nanoparticles and spiked a month. The layer input of biochar (2.5%) and microbial consortium were added. The selective strains of microbes exhibit ability to cope up metals stress and help plant growth in contaminated soil. The used microbial strains, i.e., *Bacillus subtilis* TR 1.5, *B. pumilus* TR 3.1, and *B. cereus* 20.1, were isolated from polluted Technosols of the dried lake Atamanskoe, Rostov-on-Don, Russia by collecting samples from the depth of 0-5 cm. The microbial strains were screened and tested for individual and multi-metal contamination. The highly tolerant strains were further used for experiments. The barley (*Hordeum sativum* L) seeds were sown to explore the role of biochar and metals tolerant microbes. The barley is noted as bioindicator plant to assess the toxicity. The results indicated the application of bacteria improved soil health, enhanced plant growth and well as soil microbial community up to 75% compared with control treatments. Application of bacteria in polluted soil reduced the Zn plant uptake, i.e., underground parts (roots) by 20%, and in the above-ground parts of barley plants by 13%, compared to ZnO nanoparticles polluted soil treatments. The application of bacteria also reduced the mobility of Zn compounds by 7%, due to loosely bound Zn compounds in soils. Biochar, both separately and in combination with bacteria improved the root length by 48 and 85%, and plant height by 53 and 40%, respectively, compared to the polluted control. The root length and plant height decreased by 52 and 40% in ZnO nanoparticles spiked soil compared clean soil treatments. These results showed that the enhancing soil microbial community and input of appropriate amount of biochar may reduce the huge input of pesticides and chemical fertilizers by improving the potential of soils to cope up or recover from infestation and diseases as well as generate suppressiveness naturally. The combination could be used to remediate metal/nanomaterials polluted soils, could be effective as a soil amendment to reduce metal toxicity, enhance crop growth, and improve soil health. In the wider scale the realistic output of nanomaterials is not yet standardized, and environments are associated that can hamper human health. Long-term impacts of nanomaterials of soil biota as well human health must be explored considering in situ and ex situ experiments in various climatic conditions.

Acknowledgements: The study was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University ("Priority 2030").

УДК 631.453; 504.06

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В ОБЪЕКТАХ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Бардина Т.В., Капелькина Л.П., Бардина В.И.

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН-научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия.

bardinatv@mail.ru

К объектам накопленного вреда окружающей среде (НВОС) относятся выведенные из эксплуатации бывшие земли промышленности и других организаций с несанкционированным и санкционированным размещением различных отходов, наносящие большой вред окружающей среде. В почве таких объектов в результате длительного хранения отходов и взаимодействия загрязняющих веществ накапливаются в больших количествах токсичные вещества, которые могут оказывать негативное влияние на другие компоненты природной среды (воздух, растительность, грунтовые воды). В ФЗ № 449 от 04.08.2023 г. «О внесении изменений в ФЗ «Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты Российской Федерации» указано о выявлении объектов накопленного вреда и необходимости проведения мероприятий по их ликвидации.

Для оценки экологического состояния почв объектов НВОС предлагаются методики оценки загрязнения на основе действующих санитарно-гигиенических нормативов (ПДК, ОДК).

Однако ограниченное число утвержденных значений ПДК и ОДК загрязняющих веществ,

необходимость учитывать, как краткосрочные, так и отдаленные последствия техногенных воздействий, региональные особенности, не дают представления о влиянии почвенного покрова объекта на окружающую среду и здоровье человека. Это приводит к необходимости введения в систему оценки техногенного воздействия объекта на почвы данных не только химического анализа, но и токсикологических исследований, проводимых с помощью биотестирования. Адаптация методов биотестирования для интегральной оценки экологического состояния загрязненных почв с учетом регионального фактора (мезоклимат, тип почвы, геохимический фон и др.) является одним из актуальных направлений природоохранных исследований.

Наши исследования были проведены на 4-х объектах НВОС, расположенных в разных районах Ленинградской области на землях промышленности: Всеволожский район - объект №1, Выборгский район-объект №2, Ломоносовский район-объект №3, Кировский район-объект №4. На этих объектах в прошлом осуществлялась деятельность различными организациями, в результате которой осталось размещение промышленных и бытовых отходов 3 и 4 классов опасности с нарушением технологии депонирования в виде очагов малообъемных свалок смешанных отходов, захламление и запечатывание поверхности. В настоящее время на таких объектах проводятся работы по экологической оценке их территорий для осуществления рекультивационных мероприятий по оптимизации ландшафта.

Целью исследования было проведение оценки экологического состояния почв на этих объектах с использованием химических и экотоксикологических методов с применением биотестирования. На объектах №1 и №2 поверхностный горизонт был представлен супесчаной подзолистой почвой, на объекте №3- дерново-карбонатной оподзоленной почвой, на объекте №4- техноземом. Пробоотбор проб почв с объектов был произведен с мониторинговых площадок размером 10м² с глубины 0-20 см.

Физико-химические и химические методы исследования включали: потенциометрический метод при определении рН; кондуктометрический метод при определении электропроводности; масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой для определения валовых форм элементов; газовую хроматографию для определения органических токсикантов. Для экотоксикологической оценки были применены 3 метода элюатного биотестирования, где в качестве тест-организмов использовались рачки *Daphnia magna Straus* (ПНД ФТ 14.1:2:3:4.12-06 Т 16.1:2:2:2:3:3.9-06), инфузории *Paramecium caudatum* (ФР.1.39.2015.19243 ПНД Ф Т 16.2:2.2-98), семена овса *Avena sativa* (МР 2.1.7.2297-07), и один метод контактного биотестирования на семенах пшеницы *Triticum aestivum* (ФР.1.39.2006.02264).

Исследованиями было установлено, что почвы на площадках имеют слабокислую и нейтральную среду (рН 2,8-6,9) и засоление отсутствует (0,05-0,12 мС).

Одним из традиционных токсикантов почв на объектах НВОС являются тяжелые металлы (ТМ). Почвы исследуемых объектов отличались по степени загрязнения определяемыми токсичными веществами. Для оценки загрязнения ТМ был использован суммарный показатель загрязнения почв- Zc. Почва объекта №1 была отнесена к опасной категории загрязнения ТМ (Zc=65), где было обнаружено превышение содержания некоторых ТМ 1 и 2 классов опасности над их нормативами, а также загрязнение такими органическими токсикантами как полихлорированные бифенилы ПХБ (3 ПДК). На объекте №2 было выявлено слабое загрязнение почвы ТМ и определяемыми органическими токсикантами. В почве объекта №3 было обнаружено присутствие органических токсикантов, (3,4 бенз(а)пирен-4 ПДК и ПХБ-3 ПДК). В техноземе на объекте №4 не зафиксировано превышения определяемых токсикантов над нормативами.

Чувствительность биотест-системы зависит от как от тест-организма, так и от химической природы загрязняющих веществ в пробе. В связи с этим были использованы различные

методы биотестирования. Результаты изучения токсичности водных вытяжек из образцов почв представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты элюатного биотестирования почв на разных тест -организмах

№ объекта	<i>Daphnia magna Straus</i>		<i>Paramecium caudatum</i>		<i>Avena sativa</i>	
	A%	Степень токсичности	T	Группа токсичности	E _T %	Тест реакция
№1	17,5	Не токсичная	0,51	II-умеренная	18,9	Норма
№2	0	Не токсичная	0,14	I-не токсичная	-28,8	Эффект торможения
№3	0	Не токсичная	0,52	II-умеренная	-27,9	Норма
№4	72,3	токсичная	0,29	I-не токсичная	6,6	Норма

Токсичность почв элюатными методами биотестирования была выявлена на всех объектах. Ряд распределения тест-организмов в элюатном методе по чувствительности к присутствию токсикантов в почвах был следующий: инфузории > семена овса = дафнии.

Токсичность контактным методом была зафиксирована в почвах трех объектов: на объекте №1 -умеренная степень токсичности, на объектах №2, №4 -малая степень токсичности.

Таким образом, было установлено наличие токсичности в почве на объекте №4, где химическими методами она не была выявлена.

Установлено, что для целей установления экологической безопасности почв объектов НВОС совместно с химико-аналитическими методами необходимо включать методы экотоксикологического исследования методами биотестирования.

Выполненные экотоксикологические исследования с помощью рекомендуемых методов и методик биотестирования показывают различную чувствительность примененных биотест-систем к присутствию разнообразных токсикантов в почвах объектов НВОС. В экотоксикологические методы исследования кроме методов элюатного биотестирования необходимо включать методы контактного биотестирования, что увеличивает степень точности определения наличия токсичных веществ в загрязненных почвах. Правильная оценка экологического состояния почв объектов НВОС будет способствовать проведению мероприятий по предотвращению негативного воздействия их на окружающую среду.

УДК 614.7:574.2

ДИСКУССИОННЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО МЕТОДИЧЕСКИМ РЕКОМЕНДАЦИЯМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПДК ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ

Воронина Л.П.

ФГБУ "ЦСП" ФМБА России; МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, LVoronina@cspmz.ru

В рамках пересмотра методических материалов по обоснованию ПДК химических веществ в почве, предусмотренного в настоящее время органами ФМБА (Роспотребнадзор, Минздрав) («МР по определению ПДК химических веществ в почве. 1982 г.»), возник ряд дискуссионных положений. К таким вопросам, которые требуют дополнений и обсуждений, стоит отнести обсуждение основных методических подходов. Предполагается оставить без изменения основные разделы, по которым следует проводить экспериментальные исследования нормируемого химического вещества. После обоснования стабильности и необходимости в нормировании вещества в почве, должно быть выполнено несколько этапов экспериментальных исследований. 1) Оценка перехода данного химического вещества (элемента) в растения (транслокационный показатель). В данном этапе предусмотрено три важных раздела: фитотестирование – предварительный эксперимент; вегетационный опыт с оценкой накопления испытуемого токсиканта в растениях (преимущественно в репродуктивной массе) с возможным пересчетом на рацион питания; выполнение полевых опытов, обоснование необходимое для рассмотрения биофильных элементов, чтобы не

допустить их дефицита в почве для роста и развития сельскохозяйственных растений. 2) Оценка миграции данного вещества в грунтовые воды и открытые водоемы. Миграционный водный показатель вредности характеризует способность химического вещества переходить из почвы в подземные грунтовые воды и поверхностные водоисточники. 3) Оценка возможного его улетучивания и воздушного загрязнения (атмосферы). Миграционный воздушный показатель вредности характеризует способность химического вещества переходить из почвы в атмосферный воздух; 4) Оценка его влияния на изменение микробного почвенного пула, отражающего способность почвы к самоочищению (общесанитарный показатель вредности). 5) Экотоксикологические исследования, в случае отсутствия токсикологических сведений по исследуемому загрязнителю.

Спорным является обсуждение какие почвенные образцы или субстраты должны выступать в качестве базовых для исследований. Заключение об использовании для всех экспериментов модельного почвенного эталона (МПЭ) с целью агрегирования условий эксперимента, как было указано в ранее утвержденных материалах (1982 г), не может являться универсальным. Использование МПЭ не подходит для исследований транслокационных и общесанитарных показателей. Его использование целесообразно лишь в воздушно миграционных экспериментах или водномиграционных, при обосновании отсутствия сорбции нормируемого вещества на органике или илистой фракции. Для исследований транслокационных показателей необходимо использовать почву (с обоснованием) или питательный субстрат, который считается (назван согласно ГОСТ 32627-2014) контрольной почвой, обеспечивающий произрастание растений. Почвенные исследования остаются важными и необходимыми для данных рекомендаций с обоснованием их теоретической значимости для характеристики снижения их опасности нормируемого химического вещества в естественных условиях. Также возникает необходимость по ряду позиций (например, по общесанитарным показателям) четко указать критерии, по которым будет оцениваться достоверность результата проводимого эксперимента, причем он должен отражать пороговое значение, указывать на токсичный уровень для среды, оказывающей опосредованное негативное действие на человека.

УДК 631.437.8

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ В ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (ОБЗОР)

Горохова С.М., Горохов В.Ю.

Вопрос антропогенной трансформации природной среды является как никогда актуальным, ввиду нарастающего воздействия человека на компоненты экосистем. Для экологической оценки почв используют метод, характеризующий магнитные свойства почвы, относящийся к перспективному направлению – экологическому магнетизму. Метод объединяет исследования по обширному кругу вопросов геологии, геохимии, почвоведения и экологии.

К основным магнитным свойствам почв относятся намагниченность (I), объемная магнитная восприимчивость (κ), удельная магнитная восприимчивость (χ), остаточная намагниченность насыщения (J_{rs}). Наиболее изученным магнитным свойством почв является магнитная восприимчивость.

Магнитная восприимчивость (МВ) – показатель, отражающий зависимость намагниченности вещества и магнитного поля в этом веществе. Основными носителями МВ в почвах являются соединения железа. Ферромагнетики, содержащиеся в почве, вызывают магнитный сигнал, возникающий при воздействии слабого магнитного поля на образец. Магнитный сигнал чутко фиксируется в полевых условиях каппаметрами или измеряется в образцах почвы лабораторными магнитометрами.

Превосходство измерения МВ почвы над другими инструментальными методами экологического магнетизма заключается в его преимуществах. Магнитные измерения, как

правило, обладают высокой чувствительностью, простотой выполнения, высокой скоростью измерения и, следовательно, позволяют получить большой массив данных с высокой разрешающей способностью, воспроизводимостью и экономичностью анализа.

Несомненным преимуществом метода является отсутствие инвазии на объект.

Магнитометрия решает важные почвенно-экологические вопросы, которые не могут быть решены другими методами. Магнитные измерения позволяют проводить исследования при низких концентрациях аналита, лежащих значительно ниже порога измерения для обычных минералогических и геохимических методов. Магнитометрия подходит для экспресс-мониторинга окружающей среды на местном или национальном масштабах.

В работах А.Н. Геннадиева и соавторов, посвященных изучению эродированных земель, использовался метод магнитного трассера. Авторами установлена тесная связь между МВ почв и степенью развития эрозионных процессов. При исследовании структурного состояния почв Л.А. Обыденовой было обнаружено, что магнитные оксиды участвуют в формировании водопрочной структуры. Выявлена зависимость между МВ и размерами водопрочных агрегатов дерново-среднеподзолистой, серой лесной и дерново-карбонатной почв Среднего Предуралья.

В коллективной работе В.Н. Еремина и соавторов описан подход к количественной оценке гумусного состояния черноземов с применением МВ. Метод основан на расчете приращения МВ почвы после её термической обработки.

Серия публикаций посвящена изучению окислительно-восстановительных процессов в почвах с использованием МВ. При оглеении и оподзоливании сильномагнитные оксиды железа почв трансформируются в слабомагнитные гидроксиды, что в свою очередь существенно снижает значения удельной МВ. Аналогичная зависимость наблюдается для почв пойм, где нарастание интенсивности оглеения сопровождается снижением величины удельной МВ в ряду аллювиальных почв от притеррасной к прирусловой части поймы. Магнитометрический метод применяется для изучения гидроморфизма почв. Ввиду миграции и осаждения соединений железа наблюдается снижение объемной МВ пахотных горизонтов и увеличение значений показателя в подпахотном горизонте А. С развитием оглеения в нижележащих горизонтах (вплоть до горизонта С) происходит снижение объемной МВ почвы. Почвы богарных земель Краснодарского края характеризуются слабой дифференциацией объемной МВ по горизонтам почвенного профиля. Однако наиболее высокие показатели объемной МВ отмечены в пахотном слое ($0,3 \times 10^{-3}$ ед. СИ), что, по-видимому, связано с гумусообразованием и жизнедеятельностью магнитотактических бактерий.

Для изучения процессов образования, накопления и трансформации (гидр)оксидов железа в почвах степной и полупустынной зон А.О. Алексеевым применен метод магнитометрии. Было установлено, что проявление оксидогенеза в почвах аридных территорий сопровождается изменением магнитных параметров. Магнитные оксиды в почвах степной и полупустынной зон образуются активнее под действием дернового процесса.

Широкое внедрение экологической магнетизм получил в мониторинге загрязнения ТМ почв антропогенно-измененных ландшафтов. При его проведении используется магнитное картирование почвенного покрова городов. Картограммы МВ почв были созданы для территории целого ряда крупных городов России: Вольск, Медногорск, Москва, Пермь, Саратов, Ульяновск, Чусовой и др. За рубежом карты МВ почв составлены для урбанизированных ландшафтов Австрии, Германии, Чехии, Польши, Словакии, Швейцарии, Эстонии, США и Бразилии.

На основе обобщения данных агрохимических показателей, гранулометрического состава и МВ почв Л.А. Обыденова и соавторы разработали методику бонитировки дерново-подзолистых почв.

Некоторые исследователи используют МВ для оценки изменения биоклиматических условий. Содержание биогенного магнетита в почвах выступает в роли «магнитной записи»,

которая сохраняет информацию об условиях окружающей среды. Исследование магнитных свойств и минералов современных степных почв выявило прямую зависимость между величиной МВ материала почвенного профиля и среднегодовым количеством осадков. Показатель МВ применяют не только в почвенно-экологических изысканиях, но и при исследовании растений. А.В. Морозов и соавторы установили, что растения способны аккумулировать мелкодисперсные гидроксиды железа и наночастицы сильномагнитных минералов железа, например, магнетит.

Благодаря универсальности и экспрессности измерение магнитной восприимчивости нашло широкое применение в почвенных, экологических и смежных исследованиях. Например, при изучении эрозии, структурного и гумусного состояний, окислительно-восстановительных процессов, гидроморфизма, оксидогенеза, загрязнения тяжелыми металлами и бонитировке почв; палеопочвоведении и биоклиматических изысканиях, что говорит о перспективности применения магнитометрии при проведении мониторинга и решении различных научных задач.

УДК 504.06:631.416

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ МИГРАЦИИ И АККУМУЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Елсукова Е.Ю., Недбаев И.С., Хлопцова Д.Д.

СПбГУ, Санкт-Петербург, e.elsukova@spbu.ru

Изучению миграции и аккумуляции химических элементов в почвах, а также изменению ее закономерностей в результате антропогенного воздействия посвящено большое количество исследований. На миграцию и аккумуляцию влияют факторы, которые можно условно поделить на природные и антропогенные. К природным среди прочих можно отнести: во-первых, особенности климата, химический состав подстилающих пород, положение фации в рельефе. Во-вторых, тип почвы, который зачастую определяет ее свойства: механический состав, в том числе количество физической глины и ила, важное значение имеют кислотность среды, а также органическое вещество почвы, наличие геохимических барьеров, геохимическая емкость почв. В-третьих, свойства самих химических элементов, а именно особенности их миграции в ландшафте, формы химических элементов. При этом нормированы подвижные формы, извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8, а также и валовое содержание. К антропогенным факторам можно отнести: пути поступления загрязняющих веществ, в том числе с воздушными массами, с подземными и поверхностными водами и прочее. Состав и количество выбросов, индикаторные элементы, дальность переноса с учетом розы ветров и других факторов. Необходимо также учитывать профильное загрязнение почв.

В исследовании стояла задача выявить закономерности воздействия вышеперечисленных факторов на распределение химических элементов в почвах территорий, подверженных антропогенному воздействию разной степени интенсивности.

Изучены почвы в зоне воздействия предприятия Фосфорит (Ленинградской область). На территории промышленной площадки предприятия находятся: отвал фосфогипса, хвостохранилища, рекультивированные отвалы вскрышной породы. В период с 2019 по 2021 год отобрано 84 пробы почвы на 51 эталонной площади. Было определено содержание подвижных форм Ba, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Fe, V, Zn, Sr, Sb (вытяжка ацетатно-аммонийный буфер (рН 4,8)). Использовался метод атомно-эмиссионной спектрометрии. Валовое содержание в почве Ba, Cd, Co, Mn, Ni, Pb, Cr, Cu, Fe, V, Zn, Sr, Sb, Sc определено методом масс-спектрометрии. Также классическими методами определены сера, фтор, фосфор, рН, содержание углерода.

Было выявлено, что механический состав не всегда является доминирующим фактором при накоплении химических элементов. На условно-фоновой территории преобладают

суглинистые и глинистые почвы, а на месторождении – почвы легкого гранулометрического состава. Фтор, стронций, сера, фосфор и другие основные поллютанты при воздействии добычи фосфатов, накапливаются именно в почвах легкого гранулометрического состава, что является свидетельством преобладающем влиянии антропогенных факторов.

По площади на нарушенных территориях доминируют квазиземы, в них наблюдаются максимальные концентрации кобальта, фтора, железа, марганца, никеля, фосфора и стронция. На условно-фоновых территориях в литоземах наблюдается накопление бария. В текстурно-дифференцированных почвах (на луговых площадках) аккумулируется сера (там ее содержание в несколько раз выше, чем в других почвах). В глеевых почвах наблюдается накопление хрома, меди и скандия. Максимальное содержание свинца приходится на альфегумусовые почвы.

Факторный анализ распределения валового содержания элементов позволил выделить четыре фактора, которые определяют распределение 85% выборки. Первый (44%) был интерпретирован как породный. Значимыми положительными нагрузками на первый фактор характеризуются 13 показателей (актуальная и потенциальная кислотности, валовое содержание Ba, Cd, F, Fe, Mn, Ni, P, Sb, Sc, V, Zn) из 17 взятых для анализа. Отрицательная нагрузка присуща свинцу, а медь, стронций и сера не имеют значимых нагрузок. Вторым фактором (20 %) – влияние выбросов производства фосфорных удобрений по почве, так как при воздействии этого фактора увеличивается содержание ключевых элементов, а именно стронция, фтора и фосфора. Обратной корреляцией к этому фактору характеризуются барий и скандий. Барий можно использовать в качестве нормирующего консервативного элемента. Вес третьего фактора составляет 14 %, данный фактор определяется влиянием кислотности, на отвалах наблюдается наиболее высокий показатель pH и наиболее высокие концентрации марганца, в противовес которых стоит медь и никель. Четвёртый фактор представлен только серой (остальные показатели незначимы) и занимает 7 % дисперсии. Вероятно, это проявление поступления аэрогенным путём частиц фосфогипса на прилегающие территории, так как сера входит в состав фосфогипса (сульфид кальция).

Подвижные формы тяжелых металлов (ТМ) более изменчивы, чем валовое содержание, их концентрация зависит от многих причин, в том числе интенсивности атмосферных осадков, количества выбросов в конкретный момент времени и прочее. Наибольшей подвижностью среди ТМ в почвах в зоне техногенных объектов обладают медь и марганец. При факторном анализе содержания подвижных форм ТМ в почвах было выделено большое количество факторов с нагрузкой менее 10 %. И только три основных фактора (с весом более 10%): первый фактор обусловлен составом горных пород на данной территории. Вторым фактором – техногенным загрязнением от деятельности предприятия Фосфорит. Третий, вероятно, обусловлен техногенным загрязнением от объектов г. Кингисепп.

Для сравнения взят объект с более интенсивной и длительной антропогенной нагрузкой, аналогичный анализ проведен по данным, полученным в 2018-2019 гг. в зоне воздействия медно-никелевого производства. По данным анализа главных компонент, основными факторами, влияющими на общее содержание ТМ в почве, являются техногенное загрязнение от комбината Североникель и г. Мончегорска и состав коренных пород, на которые пришлось 41 и 26 % общего рассеяния соответственно. Техногенное загрязнение от города Апатиты (источники - горно-обогатительный комплекс на базе месторождений *apatит-нефелиновых* руд и ТЭЦ) занимает 14 %. Аналогичная парагенетическая ассоциация наблюдалась и в иллювиальных горизонтах почв. По подвижным формам ТМ выявлены такие же факторы, но добавился фактор накопления элементов на сорбционных барьерах. Часть растворенных форм металлов вымывается в иллювиальный горизонт. Породный фактор в случае интенсивной антропогенной нагрузки отодвигается на второе, а для подвижных форм химических элементов, и на третье место, уступая антропогенным факторам.

При изучении условно-ненарушенных территорий ведущими являются природные факторы. Например, при изучении почв Валаамского архипелага выявлены следующие факторы – породный (39%), на втором (15%) месте – воздействие кислотности почв. Значительную роль играет образование соединений химических элементов с органическим веществом. Антропогенного фактора, влияющего на накопление и распределение химических элементов не выявлено.

Таким образом, выявлены некоторые закономерности воздействия природных и антропогенных факторов на распределение химических элементов в почвах территорий, подверженных антропогенному воздействию разной степени интенсивности. Несмотря на растущее антропогенное воздействие, даже в промышленно развитых регионах естественные факторы имеют большое значение. Тем не менее, в случае интенсивной антропогенной нагрузки они отодвигаются на второе, а для подвижных форм химических элементов, и на третье место, уступая антропогенным факторам.

Исследование поддержано Санкт-Петербургским Государственным Университетом, ID проекта в системе PURE СПбГУ: [61288689](#).

УДК 908.470.40+547

РТУТЬ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПАДНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ

Жорняк Л.В.¹, Барановская Н.В.¹, Осипова Н.А.¹, Паничев А.М.², Иванов В.В.³

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: zlv@tpu.ru;

²Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: sikhote@mail.ru;

³Дальневосточный геологический институт, Владивосток, e-mail: d159327@yandex.ru

Постоянный интерес к изучению содержания ртути в различных компонентах природной среды обусловлен определенными свойствами данного химического элемента. Ртуть является сильнотоксичным, подвижным и летучим металлом, который относится к первому классу опасности, может присутствовать в различных формах в наземных и водных экосистемах. Характер накопления ртути в почвах зависит от типа и подтипа почв и их характеристик. Наибольший интерес вызывают исследования содержания ртути в почвах крупных городов и промышленных центров с высокой антропогенной нагрузкой. Обширные ореолы с повышенными содержаниями ртути могут формироваться не только в горнорудных районах, но и в районах размещения металлургических, теплоэнергетических комплексов, а также в районах, где ранее могли быть крупные аварии, связанные с выбросами ртути. Вместе с тем, представляет значительный интерес проведение фоновый мониторинг для выявления связи между содержанием ртути и свойствами подстилающей поверхности, для выделения реального вклада антропогенной составляющей.

В работе представлены результаты исследований содержания ртути в растениях, подстилке и почве на трех полигонах заповедных горнолесных территорий юга Дальнего Востока. Отбор проб почв, растительного опада и растительности проводился в летний полевой период 2020 г. в следующих районах: 1) окрестности руч. Ванчин-Угольный, приток р. Милоградовки в Национальном парке «Зов тигра» (далее **В**-район); 2) Шандуйских озер в Сихотэ-Алиньском государственном биосферном заповеднике (далее **Ш**-район) и 3) верховья р. Пещерки, приток р. Бикин в Национальном парке «Бикин» (далее **Б**-район). На этих территориях развиты верхнемеловые-среднепалеогеновые кремнекислые и среднекислые вулканические и вулканогенно-осадочные породы. Почвы данных территории относятся к подбурам и бурозёмам, согласно классификации почв России. Всего было отобрано и изучено: 51 проба почвы, 38 проб растительного опада и 72 пробы растительности. Пробоподготовка происходила в несколько этапов и включала предварительное подсушивание, удаление каких-либо включений, растирание и

просеивание. Пробоподготовка к проведению анализа проводилась в соответствии с методическими указаниями для определения ртути атомно-абсорбционным методом согласно ПНД Ф 16.1:2.2.80-2013 (М 03-09-2013), методическими указаниями для пробоподготовки. Определение содержания массовой доли общей ртути проведено в Международном инновационном научно-образовательном центре (МИНОЦ) «Урановая геология» в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ без предварительного химического разложения проб методом беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) на ртутном анализаторе РА-915+ с пиролитической приставкой РП-91С (ООО Люмэкс, г. Санкт-Петербург). Также, методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой выполнен элементный анализ почв, в том числе анализ ртути в 11 пробах, с использованием масс-спектрометра NexION 300D (Perkin Elmer, США), для определения сходимости результатов двух методов.

В результате проведенных исследований выявлен широкий диапазон колебания содержаний ртути – от 0,013 до 0,298 мг/кг. Среднее ее содержание для почв районов В, Ш и Б составило, соответственно (мг/кг): 0,162 (размах 0,046–0,298); 0,098 (размах 0,015–0,264) и 0,117 (размах 0,021–0,28).

Растительный опад данных полигонов имеет менее широкий, чем для почв, диапазон вариации содержания ртути – 0,027–0,161 мг/кг. По ртутоносности проб сравнительно однородна лишь выборка Ванчин-Угольного полигона, а размах значений содержаний ртути в пробах остальных двух объектов соизмерим с приведенным выше общим диапазоном колебания (в мг/кг): **В-район** 0,041–0,053, **Ш-район** 0,035–0,136 и **Б-район** 0,027–0,161. Средние содержания ртути в растительном опаде в целом варьируют от 0,045 до 0,092 мг/кг. Сравнение ртутоносности растительного опада показало, что в большинстве случаев для пар «опад–почва» в пробах районов **Ш** и **Б** содержание ртути в опаде, как правило, несколько меньше, чем в почве, а в **В-районе** эта разница существеннее (рис. 1).

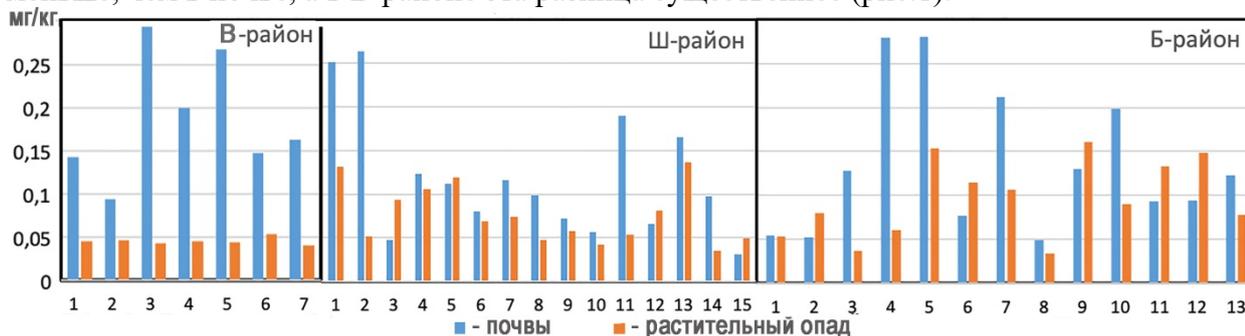


Рис. 1. Сравнение содержания ртути в почве и в растительном опаде на территории трех районов Приморского края

Содержание ртути в растительности изучено только для **Ш-района** на примере лесных растений напочвенного покрова – лишайников, папоротников, осок и лабазника. Средняя концентрация ртути в сухом веществе надземной части растений этого фитоценоза в одном и том же месте широко колеблется от 0,016 до 0,135 мг/кг. При этом в конкретных пробах папоротников, лабазника и осок величина ртутоносности обычно ниже 0,05 мг/кг.

В глобальном плане размах средних содержаний ртути 0,013–0,046 мг/кг в почвах данных объектов меньше кларка ртути в верхней части континентальной коры. Выявленный для сравниваемых районов модальный интервал 0,05–0,15 мг/кг (при диапазоне 0,013–0,298 мг/кг) не выходит за рамки колебания содержаний ртути 0,04–0,23 мг/кг в сухой массе проб из поверхностного слоя лесных почв различных стран.

Из литературных данных известно, что повышенными содержаниями ртути от 0,15 до 0,47 мг/кг характеризуются наиболее богатые органическим веществом горизонты почв, в том числе торфяные горизонты с разной степенью разложения растительных остатков в пойменных лесных и торфяных почвах, а также бурые горнолесные почвы. Это

подтверждает установленная нами значимая положительная корреляция ($r_k=0,65$) между содержанием ртути в почве и в лесной подстилке III-района (Шандуйские озера).

В изученных видах растительности наблюдается уменьшение содержания ртути в ряду: лишайник (0,135 мг/кг)>папоротник (0,038 мг/кг)>лабазник (0,023 мг/кг)>осока (0,016 мг/кг), что связано со способностью различных видов растений накапливать водорастворимые формы ртути. Наибольшие содержания ртути в лишайниках и папоротниках связаны с тем, что они имеют более выраженную способность биоаккумулировать ртуть из почвы и атмосферы.

В результате выполненных исследований установлены невысокие валовые содержания ртути, что связано с низким уровнем хозяйственного и промышленного освоения территории. В целом, геоэкологическое состояние данной территории по содержанию ртути в почве и растительном опаде оценивается как благополучное.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 20-64-47021 и 20-67-47005.

УДК 502:631.4(571.621)

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ)

Калманова В.Б.^{1,2}

¹ФГБУН Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Kalmanova@yandex.ru;

²ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, lira@ivep.as.khb.ru

В урбанизированной среде почвы, как и другие компоненты городских экосистем, испытывают влияние сложного комплекса природных и антропогенных факторов, иначе урботехнопедогенеза. Последний, чаще всего, сопровождается глубокими нарушениями состояния исходных (природных) почв, развитием в них деградиционных процессов. И лишь в небольшой степени городские почвы преобразуются в сторону улучшения состава и свойств. Распространение разнообразных антропогенно-измененных почв и техногенных отложений характерно для многих крупных городов и промышленных центров. В них практически не остается почв как естественных природных образований. На территориях малых и средних городов природные процессы почвообразования чаще всего не столь подавлены техногенным влиянием. Поэтому стратегии развития небольших городов должны обязательно включать решение проблемы “человек-среда-почва” на основе учета состояния и свойств имеющегося у них природного почвенного ресурса, бережного отношения к нему, рационального освоения и использования.

Опыт изучения почв в разных городах России показывает, что за обобщающим названием “городские почвы” скрывается большое разнообразие собственно почв (природных и в разной степени нарушенных) и не почвенных поверхностных образований, состоящих из насыпных, намывных, перемешанных природных грунтов или грунтов техногенного происхождения (шлаки, золы, промышленные отходы и др.). Следовательно, задачи систематизации всего многообразия городских почв и их диагностики с учетом особенностей природных условий и специфики хозяйственной деятельности являются крайне актуальными.

Территория Биробиджана расположена преимущественно на низких аккумулятивных поверхностях (в пределах высокой поймы и 1-й надпойменной террасы р. Бира и ее притока – р. Икура). В аллювиальных отложениях преобладают супеси, пески, гравийно-галечниковый материал, реже опесчаненные, часто ожелезненные, глины. Западную и юго-западную части города занимают возвышенные элементы рельефа в виде денудационно-останцовых низких гор (мелкосопочника) и эрозионно-аккумулятивных предгорий со

слабоволнистой поверхностью. Здесь почвообразующими породами являются элювиально-делювиальные отложения продуктов выветривания коренных пород, преимущественно эффузивных (андезитов, андезито-базальтов, кварцевых порфиров). Для территории Биробиджана характерно наличие в пределах городской черты обширных площадей природных ландшафтов, слабо затронутых антропогенной деятельностью. Центральная часть территории испытала несколько этапов застройки и перепланировки, что сильно изменило природные ландшафты и почвенный покров. Особенно большой вклад в антропогенные изменения ландшафтов и почв внесло повсеместное формирование насыпных отложений для поднятия поверхности и вывода ее из режима затопления паводковыми водами р. Бира. Изъятие грунтов для насыпей привело местами к значительной физической нарушенности почвенного покрова и формированию на территории города многочисленных комплексов карьерных выработок (более 70), превратившихся в настоящее время в искусственные водоемы.

Почвенно-экологические исследования позволили выделить на территории Биробиджана четыре большие экологические группы почв и не почвенных субстратов: природные относительно не измененные почвы; природные поверхностно нарушенные почвы; антропогенные почвы; техногенные поверхностные образования.

С учетом разработанных приоритетных показателей, проведена оценка экологического состояния почвенного покрова, определена степень его преобразованности, показано влияние региональных природных геохимических, климатических особенностей, планировочной структуры и основных источников загрязнения на концентрацию тяжелых металлов в природном компоненте. Установлен ранжированный ряд загрязняющих почвенный покров токсичных веществ, где лидирующие позиции занимают цинк, свинец, медь и др. За период с 2003 по 2022 год установлено превышение предельно – допустимой концентрации по цинку до 10 раз, меди – до 9 раз, никелю – до 3 раз, кобальту – до 2 раз, кадмию – до 7 раз, свинцу до 18 раз. Увеличение показателей произошло за счет мобильных источников загрязнения, топливно-энергетического центра, котельных. Определено экологическое состояние почвенного покрова в различных функциональных зонах города и соответственно типах почв по разработанной бальной шкале оценки депонирующих сред. Поскольку очаги техногенного загрязнения, как правило, представляют собой избыточную концентрацию не одного, а целого комплекса химических элементов, то химическое загрязнение городских почв оценивалось по суммарному показателю концентрации веществ различных классов опасности.

Санитарно-гигиенические показатели лишь частично отвечают своему назначению, так как территориально не дифференцированы, не учитывают различные типы почв, их устойчивость к загрязнению, а также виды землепользования и т.п. Поэтому в качестве дополнительного показателя была выбрана почва на эталонной территории. Локальные зоны повышенного загрязнения отдельными веществами образуются в районах расположения стационарных источников и, как правило, занимают сравнительно небольшие площади. По суммарному показателю концентрации тяжелых металлов было выявлено 5 уровней геохимических аномалий в почвенном покрове. Анализ химического состава проб почвы, отобранных в разные годы, дал возможность на основе распределения геохимических аномалий оценить экологическую ситуацию Биробиджана. Загрязненной оказалось 58 % территории от общей площади города.

На основе почвенной карты Биробиджана, анализа морфо-генетических характеристик, оценки геохимического состояния отдельных типов почв было проведено зонирование почвенно-экологических условий города. Выделены четыре почвенно-экологических зоны по степени нарушенности экологических функций почвенного покрова. Зоны почв с полностью сохраненными, частично сохраненными и полностью утраченными экологическими функциями занимают соответственно 42 %, 29 % и 18 % от всей площади

города. Выделена экологически потенциально опасная зона с риском образования в почвах геохимических аномалий - 11% от общей площади города.

УДК 631.41

СОДЕРЖАНИЕ И МИГРАЦИЯ ОБЩЕГО И ВОДОРАСТВОРИМОГО УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КРИОКОНИТАХ И ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Кушнов И.Д.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,

st084838@student.spbu.ru

Активное отступление ледников на Центральном Кавказе приводит к изменению экосистем на территории данного региона. Криокониты – темноокрашенные отложения на поверхности ледников, образующиеся в результате взаимодействия минеральных частиц, черного углерода и микроорганизмов, способны не только ускорять дегляциацию, но и влиять на почвенный покров прилегающих территорий, а также циклы различных элементов. Так, перенос материала с поверхности ледников способен играть роль в образовании первичных почв на территориях, ранее занятых ледовым покровом, за счет сходных физико-химических свойств и микробиомного состава, а также дополнительного поступления элементов питания. При этом важным является вопрос изменения потоков углерода в горных экосистемах с учетом распространения криоконитов и их возможности накопления и перераспределения различных элементов, в том числе углерода органических соединений. Учитывая стремительное отступление горных ледников на территории Центрального Кавказа, а также интенсификацию сельскохозяйственной деятельности и туризма, необходимо исследовать эколого-геохимические особенности почв и отложений в пределах данного региона, в особенности пула углерода, его перераспределения, роли криоконитов и антропогенной деятельности в его круговороте. Водорастворимые органические соединения играют особую роль в условиях промывного водного режима, характерного для почв и отложений перигляциальной и гляциальной зон, а также представляют собой наиболее реакционноспособную часть почвенного органического вещества, которое участвует в переносе различных элементов питания и влияет на химический состав почв, что обуславливает важность его изучения.

Целью данного исследования является изучение и сравнение содержания общего углерода органических соединений углерода водорастворимых соединений в Цейском и Сказском ущельях, республика Северная Осетия-Алания, а также влияния перераспределения углерода между криоконитами и прилегающими почвами. Было отобрано три образца ледниковых отложений с Цейского ледника и девять образцов почв из трех почвенных разрезов в Цейском ущелье. В Сказском ущелье были отобраны образцы отложений с ледника, бугра пучения вблизи и местных почв. В лабораторных условиях было определено содержание общего углерода органических соединений по спектрофотометрическому методу И. В. Тюрина, а также содержание углерода водорастворимых соединений. Экстракцию водорастворимых соединений проводили деионизированной водой при комнатной температуре при соотношении 1:2,5 (почва:вода) для минеральных горизонтов и 1:5 для органогенных горизонтов. Суспензии нагревали в термостате до температуры 121 °С, выдерживали в течение часа, затем охлаждали до комнатной температуры и повторяли процедуру нагрева. После повторного охлаждения суспензии фильтровали при помощи шприцевых фильтров JetBiofil с диаметром пор 0,45 мкм. Профильтрованную суспензию анализировали на предмет содержания углерода органических соединений по спектрофотометрическому методу И. В. Тюрина.

В результате исследований (Таблица 1) было обнаружено, что ледниковые отложения различаются по накоплению общего углерода органических соединений: на Цейском

леднике максимальные значения достигают 0.91 %, в то время как на Сказском леднике они достигают 2.27 %. Это может объясняться влиянием более развитой туристической деятельности и большим локальным привносом органического материала на поверхность ледника и его перераспределением. При этом, отмечается накопление общего углерода органических соединений в почвах прилегающих ущелий, особенно в органогенных горизонтах (до 19.83 %), что указывает на его активный перенос с поверхности ледника в пригляциальные почвы, что способно ускорить их развитие.

Таблица 1. Содержание общего и водорастворимого углерода в изучаемых образцах.

Образец	Содержание общего углерода, %	Содержание водорастворимого углерода, мг/кг	Доля водорастворимого углерода от общего углерода, %
Отложения, Цейский л.	0.61	0.50	0.0082
Отложения, Цейский л.	0.61	0.05	0.0009
Отложения, Цейский л.	0.91	0.44	0.0049
Первичная почва, гор. А	0.59	0.86	0.0147
Первичная почва, гор. R	0.63	1.04	0.0165
Подбур, гор. О	12.76	26.66	0.0209
Подбур, гор. Vf	1.47	4.23	0.0288
Подбур, гор.С	1.31	2.70	0.0206
Бурозем, гор. О	19.83	79.80	0.0402
Бурозем, гор. А	7.32	82.27	0.1124
Бурозем, гор. VM	1.24	2.55	0.0205
Бурозем, гор. С	0.81	0.77	0.0095
Криоконит, Сказский л.	2.27	0.11	0.0005
Бугор пучения	1.88	0.44	0.0024
Первичная почва, гор. А	1.65	0.52	0.0031
Первичная почва, гор. R	1.82	0.40	0.0022
Литозем, гор. А	6.35	12.64	0.0199
Литозем, гор. АС	3.81	6.41	0.0168

При этом, содержание углерода водорастворимых соединений крайне невелико во всех изученных образцах (макс. 82.27 мг/кг или 0.0082 %), в том числе и в органогенных горизонтах, что указывает на крайне высокий промывной режим почв и отложений и перенос водорастворимых соединений в нижележащие по течению экосистемы, что объясняется высоким уровнем осадком и поступлением ледниковой воды в период абляции. Доля водорастворимого углерода от содержания общего углерода также крайне невелика (до 0.1124 %), что также может указывать как на его дальнейшее перераспределение, так и на активное и быстрое вовлечение в биологические процессы экосистем.

Исследование проводилось при поддержке НЦМУ “Агротехнологии будущего” договор № 075-15-2022-322 от 22.04.2022.

Автор выражает благодарность Абакумову Е.В. и Темботову Р.Х. за их неоценимую помощь в подготовке данного исследования.

УДК 631.4 (504.54, 911.5)

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕКРЕАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА "КУЛИКОВО ПОЛЕ"

Лозбенева Э.А.¹, Лозбенев Н.И.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, elina7-sheremet@mail.ru;

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, nlozbenev@mail.ru

По мере развития социума и расширения городов увеличивается потребность в туризме и созерцании природы в связи повышением уровня жизни и перехода базовых потребностей населения от выживания к саморазвитию. Параллельно с ростом рекреационных нагрузок возрастает необходимость сохранения почв, растительности или ландшафтов, в целом. Эти задачи решаются или должны решаться на ландшафтно-экологической основе в задачах рекреационного или ландшафтного планирования. Наиболее эффективно с экологической точки зрения эта задача решается в ООПТ природно-исторических музеев-заповедников. Ландшафтно-экологическая основа задаётся почвенные, геоботаническими или ландшафтными картами. В нашей работе мы рассматриваем землепользование и округу широко известного музей-заповедник «Куликово поле». Он интересен как с природной (лесостепной заповедник), так и с исторической точки зрения. Землепользование заповедника относительно неплохо изучено с ландшафтных позиций.

Цель работы – оценить ландшафтное разнообразие района с использованием архивных, дистанционных и собственных полевых данных и количественно обосновать наиболее привлекательные рекреационные маршруты и репрезентативность существующих экотроп. Работа включала 3 этапа: 1) формирование ландшафтной основы, 2) обоснование критериев для оптимизации туристско-рекреационных маршрутов, 3) обоснование рекреационных маршрутов, сопоставление их с существующими маршрутами.

На первом этапе для формирования ландшафтной основы была применена классическая методология цифровой почвенной картографии с применением дистанционных и архивных материалы. Цифровая основа задаётся цифровой моделью местности (ЦММ) Sorpenicus разрешением 30 метров. По ней были рассчитаны морфометрические величины рельефа, описывающие перераспределение тепла и влаги по рельефу: потенциальная годовая радиация, крутизна, индексы влажности, формы поверхности и некоторые другие. Также рассчитаны темпы смыва почв по модели Watem/Sedem с регионализированными параметрами. В условиях расчлененного рельефа и развитой ложбинной сети значимую роль играет перераспределение выпадающих осадков. Слой стока был смоделирован по модели SIMWE с регионализированными параметрами. Обучающая выборка была сформирована на основе опорных разрезов, привязанных крупномасштабных почвенных карт колхозов и совхозов 1980-х годов. Всего было отмечено 205 точек полевых описаний для 13 таксонов почв: серые и темно-серые лесные почвы, черноземы оподзоленные, выщелоченные, слабо- и среднесмытые (без разделения на подтипы), луговато- и лугово-черноземные, черноземно-луговые, болотные, дерновые овражно-балочного комплекса и аллювиальные.

Методом машинного обучения RandomForest составлена цифровая почвенная карта на уровне микроструктур почвенного покрова. Точность модели составила 68%. Составленная модель с картографическим выражением дает общее представление о структуры почвенного покрова региона: абсолютно преобладают Чоп в южной части и Чв в северной. На плоских

междуречьях встречаются лугово-черноземные почвы и почвы западного комплекса. По элементам ложбинной сети формируются почвы возрастающего гидроморфизма.

Следующий этап заключался в обосновании критериев, позволяющих оптимизировать сеть туристско-рекреационных маршрутов в зависимости от характера проходимости по тропе, выразительности открывающихся пейзажных видов и научно-образовательной ценности.

В качестве первого критерия оценивалась общая проходимость маршрутов, от которой зависела комфортность и легкость перемещения по заданной траектории. Для оценки данного критерия мы использовали контура почвенной карты по степени их проходимости. Также было выделено 3 класса растительности (пашни, луга и леса) на основе анализа космических снимков и выполнено пересечение с контурами цифровой почвенной. Было определено, что наиболее проходимыми выступают природные комплексы с пашнями и лугами на почвах без признаков гидроморфизма. Луговые варианты почв и природные комплексы с лесной растительностью оценены как менее проходимые.

Второй критерий позволил нам оценить выразительность пейзажных видов, открывающихся перед наблюдателем при следовании по заданной траектории туристско-рекреационного маршрута. В данном случае критерий оценивался в зависимости от площадного охвата открывающихся зон видимости или визуальных бассейнов. Это позволило нам выявить не только наиболее удачные обзорные локации, но и оценить, насколько эстетически привлекательные ландшафты мы можем наблюдать с этих точек.

Так как важной составляющей компонентой при формировании пейзажных панорам на местности выступает рельеф, для расчета зон видимости мы использовали цифровую модель местности Sorernicus (с разрешением 30 м). Каждая ячейка растра выступала в качестве потенциальной обзорной точки, с которых производился расчет границ визуальных бассейнов с помощью инструмента «Видимости» («Visibility»), а также оценивался их площадной охват.

Последний критерий позволил нам учесть научно-образовательную ценность маршрутов с учетом охвата наиболее ценных природных и культурных объектов в пределах музея-заповедника «Куликово поле» и в его окрестностях.

Заключительный этап – обоснование смоделированных туристско-рекреационных маршрутов, а также сопоставление их с функционирующими маршрутами.

Таким образом, представленные критерии легли в основу моделирования новых туристско-рекреационных маршрутов с максимально оптимальной конфигурацией следования по ним. На основе модели рассчитан маршрут в зависимости от весовых значений, описанных выше 3 критериев. Весовые критерии были оценены следующим образом: хорошо проходимые комплексы с луговыми фитоценозами имеют повышающий привлекательность вес в модели, а лесные фитоценозы с гидроморфными почвами – понижающий. Высокие веса также определены для комплексов с большими площадями зон видимости и близких к природным и культурным объектам.

В результате расчета составлен новый маршрут, учитывающий природные и культурные особенности землепользования как музея-заповедника, так и окружающих его земель.

Проведенное сравнение показывает, что существующие маршруты (экотропы) охватывают основное разнообразие историко-культурных объектов, но далеко не всех природных комплексов данного района. Предложенный маршрут будет предложен музею-заповеднику в качестве варианта для продолжительных прогулок экологической и природно-исторической направленности.

УДК 631,4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОРЕСУРСНОЙ КОЛЛЕКЦИИ ПОЧВЕННЫХ МОНОЛИТОВ И ОБРАЗЦОВ КАК ОСНОВЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО МОНИТОРИНГА

Мингареева Е.В., Захарова М.К.

Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, e-mail: elena.mingareeva@yandex.ru

Коллекция почвенных монолитов и образцов Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева насчитывает около 2000 единиц, отобранных в России и других странах Мира за период с 1900 по 2012 гг. Географическое разнообразие коллекции представлено почвами практически всех Федеральных округов Российской Федерации, среди которых есть почвы из труднодоступных районов, таких как арх. Земля Франца Иосифа, арх. Северная Земля, п-ов Таймыр и п-ов Канин, о-в Врангеля и о-в Вайгач.

Основу почвенной коллекции Музея, открытого в 1904 г., составили образцы В.В. Докучаева, собранные им во время поездок по природным зонам Европейской территории России (ЕТР). В последующие годы в ее пополнении участвовали многие известные ученые: Прохоров Н.И. Никифоров К.О., Роде А.А., Завалишин А.А., Зольников В.Г., Бутузова О.В., Пономарева В.В., Прасолов Л.И. и др. В состав почвенной коллекции входят: коллекция Глинки К.Д., созданная для II Международного Конгресса (1930г., Москва); коллекция «Красная книга почв Ленинградской области»; погребенные почвы различных регионов РФ: почвы Ладужской трансгрессии (возраст ~ 4 тыс. лет), Микулинская ископаемая почва (возраст ~ 125 тыс. лет), почвы стоянки каменного века Костёнки-I (возраст ~ 22 тыс. лет); почвы, отбиравшиеся в районах Крайнего севера и приравненных к ним районам; почвы, отобранные до периода активных ядерных испытаний и интенсивного техногенного воздействия (до 1945г.) и др.

Современные тенденции в земледелии направлены на интенсификацию использования природного потенциала почв. Курс на широкое внедрение высокоинтенсивных методов в сельскохозяйственном производстве может привести к системной деградации почв.

В связи с вышеизложенным, принципиально меняется назначение почвенных коллекций.

Существенно возрастает их назначение как материальных носителей генетической памяти почв и их биоразнообразия. Почвенные монолиты являются своего рода «паспортом» генетического типа почв. Биоресурсная коллекция (БРК) представляет собой совокупность почвенных монолитов и образцов, имеющих точную географическую и временную привязку и другие характеристики, зафиксированные в Базе данных (Свидетельство госрегистрации БД № 2019620269, дата: 13.02.2019) (Рис.). Использование монолитов и образцов из коллекций Музея открывает уникальную возможность для получения фоновых характеристик почв, их изменения во времени и проведения ретроспективного мониторинга. Оно дает возможность использовать почвенную коллекцию в качестве репера, для наиболее точного и полного выявления изменений, произошедших с почвой за определенный период времени, и соотнести их с изменениями факторов почвообразования.

БРК Музея была разделена по целевому назначению на 3 группы: «почвенно-экологический мониторинг», «классификация и диагностика почв, почвенные эталоны и разнообразие почв» и «память ландшафта и земледельческой культуры».

Коллекция Музея позволяет провести ретроспективный мониторинг почв, заключающийся в сравнительном анализе данных о прошлых и современных состояниях почв. Это возможно при следующих условиях: точной пространственно-временной привязки объектов исследования, наличие информации о морфологическом строении и вещественном составе почв. Комплексный пространственно-временной анализ характеристик почвенных монолитов и их современных аналогов, отобранных в тех же самых районах и местах, дает возможность установить наиболее информативные почвенные индикаторы глобальных изменений, разработать прогнозные эволюционные модели функционирования почв при различных сценариях изменения климата и антропогенной нагрузки на почвы.



Описание монолита	Классификация	Провинция	Описание разреза	Фотография монолита	Фотография ландшафта	Карта	Сопроводительные файлы
№ монолита	886	Индекс	7.03	Авторский №	Почвообразующая порода	озерно-ледниковые отложения	
№ пленочного монолита	0	Индекс	6863	разрез 6-05			
Название почвы	Торфяно-подзол глеевый иллювиально-гумусовый			Рельеф	пониженная часть водораздела рек Свирь и Сегажка. Микрорельеф хорошо выражен и представлен ко-жанами		
Авторское название почвы	Торфяно-подзол глееватый						
Автор монолита	Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю.			Растительность	Хвойный лес. В первом ярусе сосна, ель, единично береза, подрост ели, рябины, березы. Черника, можжевельник, ооска, сфагнум.		
Дата отбора (г/мес/дн)	2005	сентябрь	30	Улик.№	31		
Государство	Россия			Положение установлено	0		
Экономический район	Северо-Запад			№ ПИК			
Федеральный округ	Северо-Запад			Мониторинг почв	да, красная книга		
Область (Субъект Федерации)	Ленинградская			Классификация почв	да		
Регион	Ленинградская область			Почвенные эталоны	да		
Район	Лодейнопольский			Координаты	E 33°15'58,5"		
Положение	Нижнесвирицкий заповедник. Разрез заложен в районе 19 км по дороге Ковкеницы - Лодейное поле. В 500 м от дороги на юго-восток						
Дополнительное положение	19 км по дороге Ковкеницы-Лодейное поле. Вправо от дороги 500-700 м перпендикулярно в лес. Ареал почв расположен в 1,8 км на северо-восток от п.п. Ковкеницы						
Наличие монолита:	да						
Обменный фонд:							
Монолит в файл				Заполнил Сухачева Е.Ю.			

Рисунок - Фрагмент Базы данных коллекции почвенных монолитов Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева

Исследования БРК почвенных монолитов и образцов позволили: провести исследования содержания естественных (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенных (^{137}Cs) радионуклидов в почвах из 5 природных зон ЕТР (арктическая, таежная, лесостепная, степная и субтропическая зоны) за практически столетний период (с 1915 по 2017 гг.), разработать и создать «Базу данных содержания естественных и техногенных радионуклидов в почвах» (Свидетельство госрегистрации БД № 2022622155. Дата: 29.08.2022 г.).

По единой методике провести комплексное исследование содержания естественных радионуклидов в основных генетических типах почвообразующих пород ЕТР (глины различного генезиса, лессовидные, покровные, моренные, озерно-ледниковые, водно-ледниковые и аллювиальные отложения, а также элюво-делювий Ордовикских и Верхнеюрских карбонатных отложений).

Выявлена динамика содержания естественных радионуклидов и техногенного ^{137}Cs и основных свойств (в частности влияние полезащитных лесонасаждений на содержание органического вещества) в черноземах Волгоградской области за 57-летний и за более чем 100-летний периоды. Проведены исследования содержания радионуклидов в почвах Воронежской области (заказник «Каменная степь» и участок «Шипов лес») за период с 1929 по 2017 гг. Выявлены изменения в почвах и содержании радионуклидов в результате работ на участке Новгородской болотной станции за 88 лет (Новгородская область). Проведен долгосрочный почвенно-экологический мониторинг лесных и степных экосистем на примере Лисинского учебно-опытного лесхоза (Ленинградская область) и полигонов «Козловский» и «Белопрудский» (Волгоградская область) и многое другое.

УДК 631.6.02; 528.88

БАССЕЙНОВЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Мищенко Н.В.¹, Трифонова Т. А.^{1,2}, Шутов П. С.¹, Быкова Е.П.²

¹Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, natmich3@mail.ru

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, - tatrifon@mail.ru

Продуктивность растительного покрова традиционно считается важнейшей характеристикой состояния почвенного покрова и устойчивости экосистем.

В работе предложен и реализован ландшафтно–бассейновый подход для изучения функционирования почвенно-растительного покрова крупной природно-антропогенной экосистемы на основе данных дистанционного зондирования.

Целью исследования является анализ влияния структуры землепользования и сельскохозяйственной освоенности территории речного бассейна Оки в целом и входящих в его состав малых речных бассейнов на динамические показатели фитопродуктивности и накопление почвенного углерода.

Объекты и методы. В настоящей работе в качестве основных структурных территориальных единиц были использованы речные бассейны различных порядков, но принадлежащие единой водосборной системе крупной реки Оки. Применено несколько уровней оценки. Первый, это оценка параметров функционирования целого бассейна. Второй уровень – это анализ «вложенных» ландшафтов и бассейнов, который позволяет учесть разнонаправленные процессы внутри единой системой. В данном случае предлагается использовать ключевые участки, представленные более мелкими репрезентативными речными бассейнами.

Расчёт показателей фитопродуктивности проведён по данным дистанционного зондирования Modis primary productivity – v 6.1 в программной среде ArcGis 10.8 в углеродных единицах с 2000 по 2015 годы для пика вегетационного сезона (середина июля). Запасы органического углерода в почве рассчитаны по данным продовольственной организации ООН (ФАО) на основе модуля «Trend.Earth» ГИС пакета QGIS v. 2.18. Типы земельных угодий определены на основе HDF растров годы по открытым данным аппаратуры Modis. Для более детального анализа структуры землепользования использовалась система деградации земель «Trend.Earth».

Результаты и обсуждение.

На территории бассейна Оки выделено 8 ключевых речных бассейнов, характеризующих разнообразие его почвенно-растительного покрова и структуры землепользования. Каждый ключевой бассейн расположен в одной ландшафтной провинции.

Показано, что в целом структура землепользования полного бассейна р. Ока сбалансирована по составу различных земель и на 40% составлена лесными землями, а на 50% пахотными землями. За период с 2000 по 2015 годы наблюдается положительная динамика лесных земель (рост на 2%) и отрицательная динамика пастбищно-пахотных земель.

В целом в бассейне Оки величина первичной продукции составила 37 г С/м^2 , а вариабельность показателя средняя ($V = 19 \%$). Анализ динамики позволил установить, что на фоне годовых колебаний имеется небольшой положительный тренд чистой первичной продукции (ЧПП). Валовая первичная продукция принимает среднее многолетнее значение 57 г С/м^2 и отличается большей стабильностью по сравнению с чистой первичной продукцией. Происходят ее изменения по годам, но долговременных, как положительных, так и отрицательных трендов не наблюдается.

Среди малых речных бассейнов, составляющих целый водосбор Оки, имеются бассейны с различными трендами, что показано и проанализировано на примере ключевых речных бассейнов. При расчете трендов показателей продуктивности использованы модели линейной регрессии. Хорошо идентифицируются некоторые ключевые речные бассейны в разных ландшафтных провинциях с четко выраженными трендами роста ЧПП. Периоды роста и падения продуктивности в целом бассейне Оки и составляющих ее водосборах имеют различный размах, но в основном совпадают по направлениям.

Высокие значения ЧПП ключевых бассейнов на протяжении всего анализируемого периода (2000-2015 годы) характерны для бассейна Колокши, который расположен на территории Клинско-Дмитровской гряды во Владимирском ополье с самыми плодородными в этом ландшафте экстразональными серыми лесными почвами. В бассейне Пара Окско-Донской

провинции чистая первичная продукция самая низкая, несмотря на его нахождение в зоне плодородных оподзоленных и выщелоченных черноземов и серых лесных почв. В данном случае сказывается нехватка влаги и еще более высокая, чем в бассейне Колокши, сельскохозяйственная освоенность территории. Следовательно, высокий производственный потенциал серых лесных почв более полно реализуется в северной части бассейна, где эти почвы являются экстразональными (бассейн Колокши). Здесь сельскохозяйственная нагрузка меньше, и климатические характеристики более благоприятные, в частности выше коэффициент увлажнения.

В целом бассейне р. Ока за анализируемый период содержание органического углерода в почве немного увеличилось (на 13 тонн/км²). В большинстве ключевых бассейнов его содержание стабильно или имеются незначительные изменения. Значимый рост органического углерода почвы отмечен только на самых плодородных в регионе выщелоченных и типичных черноземах ключевого бассейна р. Пара, где основной вклад в рост вносят пахотные угодья, а также в бассейне р. Увудь, где его увеличение обеспечивают увеличивающиеся площади лесных земель и болот.

Заключение. В малых речных бассейнах, формирующих водосбор Оки отмечаются как общие закономерности динамики фитопродукционных процессов, так и различия. Однако в границах крупного бассейна Оки, как единой экосистемы, эти различия нивелируются, что свидетельствует о том, что масштаб исследования влияет на точность и достоверность получаемых результатов. Недостаточная продуктивность одних территорий компенсируется ростом продуктивности соседних, следовательно, сохранение ландшафтного разнообразия является необходимым условием сохранения стабильности функционирования водосборного бассейна реки Оки. Таким образом, в исследовании показаны новые возможности использования «вложенных» бассейнов и применения в качестве ключевых участков малых речных бассейнов, а также варианты сочетания ландшафтного и бассейнового подходов в комплексном исследовании почвенного покрова и растительности.

УДК 574.4

ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ТОРФООБРАЗОВАНИЯ В ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ОСУШЕНИЮ И ПИРОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Никонова Л.Г., Головацкая Е.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск,
nikonovalilig@gmail.com, golovatskayaea@gmail.com

За счет высокой продуктивности и значительно более медленной скорости деструкционных процессов болотные экосистемы играют важнейшую роль в глобальном цикле углерода. Изучение процессов превращения органического вещества в болотах является также актуальным в свете текущих изменений климата и возрастания антропогенного воздействия, которые способны как ускорить, так и замедлить процессы торфообразования. Наиболее активно разложение органического вещества происходит на начальных этапах деструкции при попадании свежего опада в торфяную залежь. На скорость и динамику деструкционных процессов оказывают влияние множество факторов, основными из которых являются химический состав растительных остатков, активность микроорганизмов и условия среды. Изучение деструкционных процессов проводилось для опада *Eriophorum vaginatum*, *Chamaedaphne calyculata*, *Sphagnum fuscum*, также в эксперименте участвовал Смешанный образец (60% *Sphagnum fuscum* и 40% *Chamaedaphne calyculata*). Пунктами исследования послужили ненарушенные, антропогенно-трансформированные и находящиеся на разных стадиях естественных сукцессий фитоценозы: болото «Бакчарское» (Естественный рям (сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз) (56°52'31.7" с.ш., 82°48'27.3" в.д.), Осушенный рям (56°53'33.3" с.ш., 82°51'08.0" в.д.) и болото «Иксинское» (Восстановленный

рям (56°51'42.1" с.ш., 83°17'53.0" в.д.) и Гарь (сосново-берёзовый пушицево-сфагновый фитоценоз) (56°52'03.4" с.ш., 83°11'52.1" в.д.). Оценка скорости разложения органического вещества растительных остатков проводилась методом закладки растительности в торф. Образцы закладывались в торфяную залежь на глубину 10 см в трехкратной повторности в мешочках из синтетического материала в мае и извлекались через 4 месяца после начала эксперимента. В исходных образцах растительного вещества и в образцах после эксперимента с целью получения количественных характеристик потерь макроэлементов была определена зольность, содержание общего азота и общего углерода. Результаты проведенного исследования показали минимальную скорость деструкции для *S.fuscum* (потери от 0,4 до 4% за 4 месяца), максимальную – для *Ch. calyculata* в условиях Осушенного рьяма и Гари (31% и 34% за 4 месяца соответственно), *E.vaginatum* в условиях Гари и Естественного рьяма (25% и 29% за 4 месяца соответственно) (Рис. 1). Смешанный образец, состоящий из листьев *Ch. calyculata* и очеса *S.fuscum*, по потерям массы занимает промежуточное положение по отношению к его отдельным компонентам (потери массы за 4 месяца составили от 8 до 10%).

Изменение содержания углерода в процессе деструкции растительных остатков коррелирует с потерями массы, в то время как для изменения содержания азота в растительных остатках не выявлено зависимости с потерей массы. В растительных остатках *E.vaginatum* происходит накопление (иммобилизация) общего азота во всех изучаемых фитоценозах. Для Смешанного образца иммобилизация присутствует во всех фитоценозах за исключением условий Гари. В соответствии с наблюдаемым изменением содержания углерода и азота в растительных остатках, изменяется соотношение C/N. Согласно полученным результатам для всех образцов, кроме *S. fuscum* в условиях Осушенного рьяма, происходит снижение значения C/N к четвертому месяцу деструкции.

Важное влияние на динамику и скорость разложения оказывает также зольность. В ходе краткосрочного эксперимента зафиксировано как снижение, так и накопление зольных элементов. Для очеса *S. fuscum* характерно накопление зольных элементов во всех изучаемых фитоценозах, при этом максимальное накопление характерно для условий фитоценозов, подверженных пирогенному воздействию. Однако, при разложении Смешанного образца наблюдается снижение зольности во всех изучаемых фитоценозах.

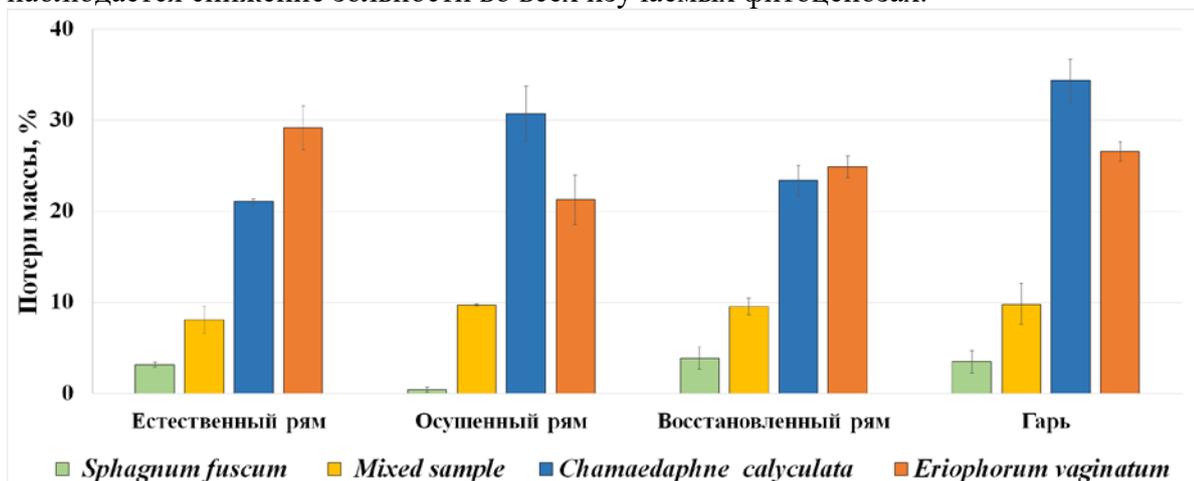


Рисунок 1. Потери массы органического вещества в ходе деструкционных процессов в течении первых 4 месяцев.

Таким образом, выявлено, что осушение и постпирогенные условия оказывают влияние на содержание общего углерода, азота и зольных элементов на начальных этапах деструкции, ускоряя разложение опада *Ch. calyculata*, и замедляя разложение *E.vaginatum*. При этом, во всех условиях наименьшей скоростью деструкции отличаются *S. fuscum* и Смешанный образец.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН (проекты № 122111400002-2 и № 121031300154-1).

УДК 631.474

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ПРОЦЕССЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА Г. МОСКВЫ)

Орлова К.С.¹, Савин И.Ю.^{1,2}

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва,

²Российский университет дружбы народов, Москва, Подольское шоссе, 8, 115095 Россия, e-mail: orkse@yandex.ru

Почвенный покров урбанизированных территорий характеризуется фрагментарностью и гетерогенностью, что зачастую препятствует комплексному исследованию городских почв. Основной причиной такой неоднородности является антропогенный фактор, в том числе активная градостроительная деятельность. В отличие от естественных почв городов претерпевают интенсивное механическое воздействие, изменение химических и физических свойств, запечатывание и полное уничтожения на участках заложения фундаментов и крупных дорог. Тем не менее городские почвы остаются важным элементом урбоэкосистем, сохраняя возможность производить важнейшие экологические функции.

Изучение истории землепользования на урбанизированных участках важно для последующей оценки и принятия решений по управлению почвенными ресурсами. В настоящее время в прикладных градостроительных практиках практически не производится оценка различных этапов функционального пользования почвенного покрова.

Целью данного исследования является оценка степени трансформации почвенного покрова на основании подробного ретроспективного анализа землепользования и градостроительной деятельности.

Для ключевого участка, расположенного на северо-западе Москвы, произведен анализ фондовых карт, схем, а также материалов ДЗЗ, начиная с 1700-х и до настоящего времени. Выполнено зонирование современного почвенного покрова путем агрегации участков со схожей историей землепользования. Рассчитано количество уничтоженных и экранированных почв, а также произведена предварительная оценка изменения способности городских почв реализовывать экологические функции в сравнении с почвами коренных ландшафтов. Последние были воссозданы путем наложения архивных схем коренной растительности и ландшафтов, геоморфологического и орографического строения. Качество и ценность почвенных ресурсов в городской среде во многом определяется историей землепользования на конкретных участках. Анализ преобразований почвенного покрова в ходе градостроительной деятельности позволит оптимизировать подходы к выбору ключевых участков исследований почв на урбанизированных территориях, расстановке точек отбора полевых образцов, а также интерпретации полученных лабораторных данных и оптимизации стратегии по управлению почвенными ресурсами в городе.

УДК 631.453

ВЛИЯНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАФИКА НА ГЕНОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ ПРИДОРОЖНЫХ ЗОН Г. ШАХТЫ

Парамонова Е.А.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, keito.paramonova@mail.ru

Городские почвы поддерживают жизнеспособность всех компонентов урбанизированной природной среды. Однако в результате антропогенной деятельности городская среда трансформируется, ее свойства изменяются. Вещества, загрязняющие атмосферный воздух,

оседают на поверхности почвы. Как результат, почва сама становится источником загрязнения. И в последние десятилетия значительно возросло влияние автомобильного транспорта на окружающую среду. Как правило, вещества, загрязняющие атмосферный воздух и почвы в городах, образуются преимущественно в результате выхлопов автомобильного транспорта. Часть этих веществ не только вызывают заболевания, связанные с различными токсическими эффектами, но также обладают канцерогенными и мутагенными свойствами. Причем последние наносят повреждения генетической структуре живых организмов, могут привести к ряду проблем со здоровьем, а также отразиться на будущих поколениях, потому как генетические мутации имеют особенность передаваться по наследству. И так как в большинстве стран мира городское население значительно преобладает над сельским, то последствия загрязнения окружающей среды отразятся в первую очередь на городском населении. Поэтому одной из важнейших задач является оценка качества почвенного покрова в городской среде, ведь здоровье огромного количества людей будет зависеть от его экологического состояния.

Одним из методов, позволяющих оценить уровень мутагенной активности почв, является цитогенетическое тестирование, которое активно применяется для выявления и определения степени влияния негативных факторов на компоненты окружающей среды. Преимуществом растительных тест-систем является возможность оценить генотоксический эффект как отдельных веществ, так и недифференцированных мутагенов, а также проводить многолетний мониторинг окружающей среды. И так как высшие растения являются эукариотическими организмами, то они имеют подобную животной, а, следовательно, и человеческой, хромосомную структуру, а это значит, что влияние на генетический аппарат растений, животных и человека будет схожим.

В качестве объектов исследования были выбраны поверхностные горизонты почв придорожных территорий г. Шахты с разной степенью автотранспортной нагрузки. Отбор почвенных проб производился на глубине 0–10 см.

Тест-культурой для анализа на генотоксичность являлся лук репчатый (*Allium cepa*, L., сорт «Штуттгартер ризен»). В качестве контроля использовались луковицы, пророщенные на дистиллированной воде. *Allium cepa* был выбран потому, что эта тест-система является одной из наиболее часто используемых для мониторинга окружающей среды.

Для эксперимента были выбраны небольшие луковицы диаметром 1,5–2 см, у которых не должно быть проклюнувшихся корней и листьев. Саму процедуру анализа проводили в соответствии со стандартной методикой *Allium cepa*-test, где основными этапами были проращивание луковиц в течение 2–3 дней, фиксация корешков в ацетаталкогольном фиксаторе Кларка (смесь этилового спирта и ледяной уксусной кислоты 3:1) в течение 2-х дней при $t=4^{\circ}\text{C}$, окрашивание материала 2% ацетоорсеином в течение 1 суток и приготовление давленных препаратов корневой меристемы.

Среди патологических митозов (без учета профаз) были обнаружены: фрагменты, мосты, отстаивания, множественные aberrации, ассиметричные митозы, нерасхождения сестринских хроматид, рассеивания хромосом в метафазе, полые метафазы, микроядра.

Экологическую оценку почв проводили по учету уровня частоты мутаций (патологических митозов) на основании документа «Нормы и правила проектирования комплексного благоустройства на территории г. Москвы» (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка уровня генотоксичности почв

Рост числа мутаций в сравнении с контролем, раз	Характеристика ситуации
<2	Удовлетворительная
2–10	Относительно удовлетворительная
10–100	Неудовлетворительная
100–1000	Чрезвычайная экологическая ситуация

Все исследованные почвенные образцы, отобранные на придорожных территориях в г. Шахты, имели статистически значимое превышение уровня частоты патологических митозов (мутаций) по сравнению с контролем. Среднее значение степени генотоксичности почв, отобранных вблизи улиц с высоким дорожным трафиком, было заметно выше, чем почв, отобранных вблизи улиц с низким трафиком (10,7 и 7,6% соответственно).

При оценке экологического состояния почв улиц с низким автотрафиком было выявлено, что высокий процент образцов имел неудовлетворительное состояние (69,23%). Превышение контрольных значений составило 12,1–25,7 раз. Скорее всего, на это повлияла близость этих улиц к дорогам с высокой плотностью автомобильного трафика. Состояние остальных образцов можно охарактеризовать как относительно удовлетворительное. Это может быть связано с тем, что они отбирались на участке с газоном, который, вероятно, препятствовал прямому оседанию загрязняющих веществ из воздуха на поверхность почвы, либо – в местах, где почву постоянно перекапывали, что, естественно, снизило уровень мутаций в клетках апикальной меристемы лука, либо образцы отбирались вдали от дорог с большим потоком автомобилей. Подавляющее большинство образцов, отобранных на улицах с высоким автомобильным трафиком в г. Шахты (81,8%) также имели неудовлетворительное состояние (превышение контрольных значений составляло 11,4–39,8 раз). Лишь состояние некоторых образцов почв придорожных территорий, отобранных на улицах с высоким автомобильным трафиком в г. Шахты, характеризуется как относительно удовлетворительное. Все потому, что данные образцы отбирали из мест регулярных перекопок, что, как и в случае с почвенными образцами, отобранными вблизи улиц с низким автотрафиком, могло снизить количество мутаций в клетках корня тест-культуры. Обнаруженные патологии митоза имели достаточно широкий спектр. Среди них чаще всего встречались мосты, немного реже – фрагменты и отстаивания, стабильно встречались микроядра и рассеивания хромосом в метафазе. Это говорит о том, что мутагены, присутствующие в исследуемых почвах, влияют на различные клеточные структуры, участвующих в митозе. Например, мосты, фрагменты, отстаивания, микроядра, нерасхождения сестринских хроматид являются последствием повреждения хромосом, а рассеивания хромосом в метафазе, ассиметричные митозы и полые метафазы – последствием нарушения митотического аппарата.

Таким образом, интенсивность автомобильного трафика отрицательно сказалась на показателях степени генотоксичности почв придорожных территорий г. Шахты: чем выше трафик движения автомобилей на дороге, тем выше частота патологических митозов. Загрязнение почв выхлопами автомобилей спровоцировало появление большого количества мутаций в клетках апикальной меристемы *Allium cepa*, что повлияло на конечную оценку экологического состояния исследованных почв: она оказалась в большей части образцов неудовлетворительной. Причем это было характерно как для улиц с высоким дорожным трафиком, так и с низким.

УДК 631.4: 581.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ МАРШЕВЫХ ЛУГОВ ОСТРОВА САХАЛИН МЕТОДОМ ФИТОИНДИКАЦИИ

Рожкова-Тимина И.О.

ФГБОУ СахГУ, Южно-Сахалинск, inna.timina@mail.ru

Марши – категория водно-болотных угодий, периодически затопляемая водами близлежащего водоема и характеризующаяся травянистой растительностью, которая часто образует обширные луга. В русскоязычной литературе под термином «марши» обычно подразумеваются полосы побережья моря, находящиеся в зоне приливов и отливов.

Особенностью маршевых территорий является галофитная растительность, то есть растительность, приспособленная к произрастанию на засоленных почвах. Нижним пределом марша считается обращенная к морю граница распространения надводных сосудистых растений, верхняя граница марша ограничена зоной затопления сизигийными приливами. Маршевые почвы требуют не менее тщательного исследования, чем почвы внутриматериковых (внутриостровных) территорий. В нашей работе мы провели опосредованную оценку почвенных режимов методом фитоиндикации. Преимущества геоботанической индикации перед аналитическими методами состоят в дешевом и быстром получении информации о почвенной среде путем анализа признаков растительности. Существующие в настоящее время методы химического анализа зачастую трудоемки, требуют значительных затрат и по существу являются точечными. Для территориального анализа необходимо большое количество точек отбора проб, что также требует больших временных и финансовых затрат. При этом живые организмы, и, в частности, травянистые растения, своим присутствием, обилием и состоянием дают объективную информацию о свойствах почвы.

С помощью шкал Д.Н. Цыганова можно отследить различия почвенных условий фитоценозов, отражающихся в диапазоне балловых оценок для каждой географической точки. Методика включает в себя климатические (термоклиматическая, континентальности климата, аридности–гумидности, суровости зимнего периода) и эдафические шкалы (увлажнение почв, солевой режим почв, кислотность почв, богатство почв азотом, переменность увлажнения почв, освещенность–затенение). Мы выбрали для рассмотрения пять эдафических факторов (все, кроме режима освещенности–затенения). Расчет средних экологических статусов был проведен с помощью двойного взвешенного усреднения. Исследования по изучению маршевой растительности проводились в южной части Сахалина, в вершине залива Анива (Охотское море), в окрестностях села Соловьевка (Корсаковский район) летом 2023 года. Полевые работы проводились маршрутным методом с использованием стандартных методик проведения геоботанических описаний, включающих определение видового состава луга и выявления доминантных видов с оценкой процентного содержания. После обработки полученных геоботанических данных в ПО IBIS v.7.2 были охарактеризованы основные экологические режимы почв.

Типы водного режима маршевых почв:

Свежелуговой и влажнолуговой. Занимают обширные относительно хорошо дренированные пространства в зоне сизигийных приливов. Расход влаги идет в виде вертикальной и боковой инфильтрации, физическое испарение здесь очень слабое из-за развитого растительного покрова.

Сыроватолуговой и сыролуговой. Этим территориям свойственно переувлажнение, весьма непродолжительные периоды дефицита влаги случаются редко. В таких почвах вероятны процессы торфообразования и оглеения. Этот тип почвенного режима приурочен к зоне ежедневных приливов и отливов.

Мокролуговой. Этот режим был определен на территориях, подвергающихся редкому затоплению, однако с высоким уровнем грунтовых вод.

Типы солевого режима маршевых почв:

Мезотрофный гликофильный. Эти почвы нередко имеют признаки подзолообразования, оглеения и торфообразования. Небогаты питательными веществами, обеспеченность солями относительно удовлетворительная. Расположены по верхним границам маршей.

Пермезотрофный, семиэвтрофный и субэвтрофный гликофильный. Эти почвы подвергаются регулярному затоплению, они хорошо обеспечены солями при отсутствии признаков засоления, обладают достаточным количеством питательных элементов и представляются оптимальными для произрастания луговой растительности.

Эвтрофный гликофильный, петрофный и эвтрофный галофильный. Эти почвы подвергаются постоянному воздействию приливной деятельности. Обеспеченность солями высокая, но не затрудняющая или почти не затрудняющая деятельность корневых систем.

Типы режима кислотности маршевых почв:

Кислые почвы. рН = 3,5-4,5. Развита в зоне сизигийных приливов.

Слабокислые почвы. рН = 4,5-5,5. Развита на территориях, подверженных ежедневному влиянию приливной деятельности.

Нейтральные почвы. рН = 5,5-6,5. Растения-индикаторы нейтральных почв были встречены всего в одном описании в верхней границе маршевой зоны.

Типы режима богатства почв азотом:

Бедные азотом почвы.

Достаточно обеспеченные азотом почвы.

Здесь необходимо отметить, что опосредованная оценка богатства почв азотом довольно неточная, так как в описаниях, сделанных на нижних пределах маршей, нам не встретилось ни одного растения-индикатора. На остальной исследованной территории тенденции изменения обеспеченности почв азотом по мере удаления от линии моря не выявлено.

Типы режима переменности увлажнения почв:

Слабо переменного увлажнения. В этот режим попадают территории верхних границ маршей, подверженные влиянию сизигийных и/или штормовых приливов.

Умеренно переменного увлажнения. В этот режим попадают территории ежедневного затопления.

Подытоживая вышеизложенное, можно сказать, что маршевые почвы на юге Сахалина имеют свои особенности, но ни в одном режиме не достигают экстремальных значений.

УДК 631.4 (574)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТЕПНЫХ ПОЧВ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Рыспеков Т.Р.

Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы,
rispekov_t@mail.ru

Для методов оценки загрязнения степных почв под различными объектами есть мало изученные причины, которые вызваны погодными и почвенными особенностями зоны. Так климатические условия подзоны типичных (черноземных) степей характеризуются показателями: средняя температура воздуха в июле - 18-20 °С, сумма активных температур - 2200-2400 °С, осадки за год - 370-420 мм, испаряемость - 710-720 мм, коэффициент атмосферного увлажнения – 0,55-0,60. Климатические условия в подзоне сухих степей характеризуются показателями: 20-22 °С, 2400-2600 °С, 320-370 мм, 730-740 мм и 0,45-0,50, соответственно.

Такие условия вносят свой вклад в функционирование «языковатой» и «заклинковой» частей почвы. На современном этапе сохранение экосистем и определение степени нарушенного почвенного покрова степной зоны в районах нефтедобычи актуальна. Например, загрязнения при разработке и добыче нефти на территории Северо-Западного Казахстана, с учетом погодных условий местности. Почвы степной зоны, подверженных загрязнению нефтяной промышленностью, расположены на территории Уральской и Актюбинской областей. Это черноземы южные, а также темнокаштановые и каштановые почвы разных родов. Имеются большие площади комплексных и других почв.

При объединение знаний особенностей строения почв степной зоны с фильтрацией нефтепродуктов в почве, позволит объяснить этот процесс с новых детальных позиций. В-первых, летний этап характеризуется более быстрым прогреванием и иссушением верхних и глубьлежащих слоев почвы. Это ведет к раскрытию почвенных трещин по «языку», что в

свою очередь ведет к прогреванию самих «языков» через трещины. Меньшее влияние трещины оказывают на межтрещинные или «заклинковые» пространства почвы. До раскрытия почвенных трещин почти все процессы в почве происходят обычным (стандартным) путем. О строении почв и их впитывании влаги, о роли трещин в передвижении загрязнителей мы упоминаем как для целинных, залежных, так и для возделываемых почв.

Следует иметь в виду, что в основном в степной зоне – это обработанные для посевов почвы, которые в обработанных горизонтах не содержат на поверхности трещин. Однако находящиеся в нижних необрабатываемых горизонтах почвы «языки» способствуют образованию трещин. Обычно, к середине лета, трещины образуются и в пахотном горизонте, которые соединяются с «языками» подпахотных слоев. Со временем и в подпахотном горизонте возникают трещины, и они являются единым целым.

На этих участках происходит загрязнение почв и почво-грунтов, как ядохимикатами, так и другими веществами, применяемыми в сельском хозяйстве. Эти локальные участки имеют, в основном, вертикальную схему движения различных потоков загрязняющего вещества по трещинам и межтрещинным пространствам.

По мере раскрывания трещин появляются дополнительные функции, которые в определенной мере влияют на механизм почвенного загрязнения. Вертикальные потоки растворов, загрязняющие генетические горизонты почвы, в этом случае, получают несколько измененный темп их поступления в местах контактов с трещинами. Динамика перемещения загрязненного воздуха, водных и иных растворов, механических просыпаний различных частиц вглубь почвы имеют большую интенсивность.

В этот период наряду с природными веществами в почву поступают наибольшее количество посторонних предметов. Важными для изучения из них является жидкие растворы, которые способны по трещине проникать вглубь почвы и почво-грунтов за счет силы тяжести. Выпадающие осадки, также образуют различные растворы и взвеси с находящимися на поверхности почвы предметами, соединениями, веществами, которые инфильтруются по трещинам.

То есть, после раскрытия трещин загрязнения почв по площади и по глубине изменяются. Летом, при одном и том же количестве поступления загрязняющего вещества, площадь и глубина загрязнения почвы будут разными, к которым можно добавить еще два вида по способу их проникновения. Поэтому, во-вторых, после частичного и полного закрытия трещин, площади загрязнения почв будут увеличиваться при дальнейшем поступлении веществ из-за их меньшего проникновения в почву.

Если загрязнители поступают прерывисто в эти периоды, то можно будет суммировать загрязнения. Проникновения загрязнения во все периоды будут разными, как по трещинам, так и межтрещинным пространствам. Есть вероятность, что в конце лета полное закрытие трещин может не происходить из-за загрязнения, которое изменит набухающее свойство почв.

Следует выделять и исследуемые объекты, так как на любых объектах существует повреждения поверхности почвы, однако степень повреждения и виды повреждения могут быть разными. Сооружения, движения техники находятся в различных соотношениях друг к другу, которые являются и источниками загрязнения, уплотнения и перемещения почвы в разных количествах и качествах. Воздействие этих объектов сказывается не только на поверхность, но и на нижние горизонты почвы.

Очень часто объекты и работы возле них способствуют уплотнению и распылению поверхности почвы. Что еще больше способствуют раскрытию трещин и инфильтрации потоков по этим трещинам вниз. При этом уменьшается доля просочившихся растворов в межтрещинное пространство, а доля просочившихся растворов в трещины увеличивается. Также при уплотнении почва быстрее теряет влагу, а пылеватые частицы уменьшают впитывание жидких растворов почвой. В обоих случаях, как отдельно, так и вместе,

увеличивается и ускоряется возможность появления стока, который начнет проникать и просачиваться в почвенные горизонты по «языкам».

На какой-то период жидкие растворы, увлажнив почву, снова могут привести к смыканию трещин. Смыкание загрязненных трещин зависит от многих факторов, таких как химический состав, вязкость, температура раствора, прилипание к ним механических частиц, распыленность почвы. Например, распыленная почва осыпается в трещины, а при выпадении осадков или других жидкостей в небольшом количестве – быстро набухает и уменьшает фильтрацию жидких растворов. В этом, наиболее частом, случае происходит смыкание верхней части краев межтрещинных пространств над трещиной.

При выпадении большого количества осадков или других жидкостей, забитая почвенной пылью трещина, из-за своего более рыхлого состояния, промывается вглубь трещины под напором жидкостей. От этих растворов края межтрещинных пространств могут сомкнуться полностью и закроют трещины или останется не сомкнутыми (не слипшимися) нижние части трещин.

Трещины в этих случаях закрываются на различные периоды времени. Они снова раскрываются после испарения. Соответственно, при малом количестве жидкости, попавшей на почву и просочившейся по трещинам, потребуется и меньшее время на их открытия, по сравнению с большим количеством жидкостей.

Эта статья является результатом выполнения работы по грантовому финансированию Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан [грант № AP23489889].

УДК 631.45

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФИТОЦЕНОЗОВ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ИХ СВЯЗЬ СО СТРУКТУРОЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Сангаджиева О.С., Даваева Ц.Д., Сохорова З.В., Сангаджиева Л.Х.,

Бочкаев С.Л., Аржанова С.Э.

Калмыцкий государственный университет им. Б.Б.Городовикова, Элиста,

email: chalga_ls@mail.ru

Озерным экосистемам в Калмыкии до последнего времени не уделялось должного внимания ввиду их немногочисленности и маловодности. При создании водохранилищ эти геоморфологические структуры долин рек и озер официально исключались из земельно-государственного фонда, но в них сбрасывали воду водохранилищ, использовали как отстойники. Вместе с тем, происходит неконтролируемый процесс их антропогенного освоения под рекреационные зоны, сенокос и пастбища, отстойники, свалки промышленных и бытовых отходов, выработки песчано-гравийной смеси. Одним из направлений экологического нормирования антропогенных нагрузок на наземные и водные экосистемы озер является определение фоновых концентраций тяжелых металлов (ТМ) в отдельных компонентах, необходимых для построения региональных моделей геохимических потоков загрязняющих веществ.

Цель работы состоит в определении эколого-геохимических особенностей фонового распределения тяжелых металлов (Mn, Co, Cu, Zn, Pb, Cd) в основных компонентах озерных и сопряженных с ними почвенно-растительных экосистемах Яшкульского района на примере двух озер Бузга и Зеркальное. Основные задачи исследования: определение основных факторов формирования природного геохимического фона в озерных экосистемах; установление закономерностей пространственного фонового распределения тяжелых металлов в аллювиальных отложениях и формирующихся на них почвах в зависимости от геохимических условий; выявление фонового содержания тяжелых металлов в

растительности и оценке ее биогеохимической роли в формировании фонового содержания металлов в почвенном покрове.

Озеро Бузга расположено на территории Тавн-Гашунского СМО Яшкульского района, в 25 км от п. Яшкуль. Началом образования озера послужили сбросные воды из Яшкульского канала-распределителя Черноземельской обводнительно-оросительной системы с 1973 г. Площадь озера в настоящее время составляет 790 тыс.м², объем 1,2 млн.м³. Максимальная глубина до 3,5 м, средняя до 1,8 м. расположено озеро в глубокой впадине с крутыми берегами. Благоприятные почвенные условия способствовали рассолению вод, естественные понижения сделали его оазисом среди пустынной местности рядом с песчаными барханами и карьерами. Ежегодно производится подпитка озера в осенний период. Озеро Бузга южной оконечностью уходит в песчаный массив. Берег озера обрывистый с восточной стороны и ровный с западной. Вокруг озера образованы лагуны.

Озеро Зеркальное расположено на территории СМО Цаган-Усн Яшкульского района, в 12 км от п. Яшкуль. Образовано в 1986 г. на месте строительства площадки под перекачивающую насосную станцию для канала «Волга-Чограй», подпитывается из Черноземельского магистрального канала через дренажную систему площадки насосной станции. Площадь зеркала воды составляет 250 тыс.м². Объем озера – 625 тыс.м³. Средняя глубина 2,5 м, максимальная – 30 м. используется как источник пресной воды для целей сельхозводоснабжения, обводнения и рыболовства. Ежегодно производится подпитка озера в осенний период.

Луговобурые почвы озера Бузга формируются на микро- и мезопонижениях в условиях оптимального поверхностно-грунтового увлажнения, отличаются биогенной и гидрогенной аккумуляцией веществ. Луговобурые почвы по гранулометрическому составу супесчаные и легкосуглинистые. Вблизи озера «Бузга» почвы слабозасолены: солончаковатые с хлоридно-магниево-натриевым типом засоления. Водная растительность в основном представлена водорослями: ряска, рдест. В луговобурых почвах значительно выше содержание марганца и цинка, содержание железа, кобальта и бора находится на уровне бурых полупустынных почв, концентрация меди ниже, чем в других почвенных разностях.

Солончаки и солонцы вокруг озера Зеркальное занимают большие территории в Яшкульском районе, тянутся широкой полосой вдоль Черноземельской оросительной системы, по руслам пересыхающих речек и окаймляют озера. По гранулометрическому составу солончаки относятся к среднесуглинистым. Содержание органического вещества в верхнем горизонте от 0,5 до 2,8%, рН 7,8-8,4. Среди солончаков встречаются образцы с кислой реакцией среды (рН 4,5). Исследования водной вытяжки почв озер показали, что по типу засоления вода озера сульфатно-магниевая и хлоридно-магниевая.

Для всех изученных вод характерен хлоридный тип по аниону. Содержание хлоридов колеблется от 31,8 до 62,7 мэкв/л, сульфатов от 2,75 до 31,05 мэкв/л, гидрокарбонаты находятся в незначительном количестве в пределах 1,9-11,4 мэкв/л. Тип минерализации вод по катиону Mg-Na на озере Бузга, у берега Ca-Na; на озере Зеркальное Mg-Na; в воде канала Волга-Чограй – Ca-Na. Все воды озер повышенной жесткости 14,0-25,4 мэкв/л.

Микроэлементный состав растений тесно связан с составом субстрата, на котором они произрастают и поэтому является важной эколого-геохимической характеристикой ландшафта (Глазовская, 1988). Растительные организмы не только сами приспособляются к физической среде, но и своей деятельностью приспособливают геохимическую среду к своим биологическим потребностям.

Из тяжелых металлов в водах озера Бузга и Зеркальное проанализированы марганец, медь, цинк, кадмий, свинец. По сравнению с ПДК превышение идет только по марганцу в 1,2-3,5 раза. По свинцу нет превышения ПДК, по кадмию есть превышение на оз.Зеркальное в 1,9 раза, на оз. Бузга в 5,4 раза, в канале в 3,9 раза. Вода канала отличается от озер по содержанию ТМ: ниже, чем в воде канала меди (в 1,5 раза), свинца (в 2 раза), выше содержание цинка (в 2,6 раза). В воде оз.Бузга выше содержание кадмия и марганца (в 2,9

раза). Санитарная предельно-допустимая концентрация (ПДК) предельно ограничивает применение этих вод в питьевых целях.

Содержание золы характеризуют минеральный состав растений, с увеличением золы увеличивается солеустойчивость растений, способность к выживанию на солончаковых и солонцовых почвах, некоторые растения обладают способностью противостоять высоким концентрациям солей в почве и не накапливают их. Содержание золы зависит от вида растений и места произрастания, в растениях оно колеблется в пределах от 5,03 до 13,38%, наибольшее значение отмечено у ромашки мелкотычинковой, наименьшее у рогоза маленького (озеро Бузга). Пределы накопления золы 6,72-32,13%. Наименьшее содержание золы в сурепке, рогозе, тысячелистнике, цмине, наибольшее – в онозме, полыни, джужгуне, кермеке, солеросе, петросимонии. В растениях озера Зеркальное содержание золы колеблется в пределах от 7,23 до 33,15, наибольшее значение отмечено у растений кермек широколистный, наименьший – у тамарикса. Зольность растений увеличивается на засоленных почвах у таких видов растений как солерос, подорожник.

Биологическая активность вещества в растениях озерных экосистем представлены широким набором. Наиболее ценным в них являются витамины. Содержание витамина С в растениях исследуемых объектов находится в пределах 0,87-11,61 мг%. Наибольшее содержание витамина С найдено в онозме красильной, полыни, мяте, высокое содержание сырого протеина найдено в сурепке, тамариксе, петросимонии. Азот тесно связан с белком в растительных тканях, содержание общего азота наибольшее в джужгуне, зопнике, полыни, онозме, цмине, петросимонии. По содержанию фосфора – одним из питательных элементов для растений, также большие пределы от 60 до 465 мг/кг. Наибольшее содержание фосфора в зопнике, онозме, полыни, джужгуне, тамариксе.

УДК 631.4

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА И ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ ПОЛУПУСТЫНИ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЖАНЫБЕКСКОГО СТАЦИОНАРА)*

Сиземская М.Л., Сапанов М.К.

Институт лесоведения РАН, с. Успенское, Московская обл. e-mail: sizem@mail.ru

Почвы полупустыни Северного Прикаспия являются хорошо изученным объектом как с точки зрения их генезиса, особенностей морфологического строения, химического и минералогического состава, так и трансформаций под влиянием природных и антропогенных факторов. Это связано не только с исторической востребованностью таких исследований в связи с претворением в жизнь так называемого Плана преобразования природы в середине 50-х годов XX века, но и с необходимостью научного сопровождения этого грандиозного проекта. У истоков постановки научных исследований стояли выдающиеся советские ученые: В.Н. Сукачев, А.А. Роде, С.В. Зонн, А.Ф. Большаков. Тогда же на границе России (Волгоградская обл.) и Казахстана (Западно-Казахстанская обл.) был создан Джаныбекский стационар, представляющий собой агролесомелиоративный комплекс площадью более 1500 га из разнообразных искусственных лесных экосистем разного функционального назначения: поле- и пастбищезащитных лесополос, массивных насаждений, дендрариев, сада, ягодников. Лауреат Государственной премии СССР, профессор А.А. Роде оставался бессменным научным руководителем стационара до 1979 г. В 1981 году неформальным научным руководителем почвенных исследований на Джаныбекском стационаре стала профессор Татьяна Алексеевна Соколова, посвятившая этому значительную часть своей жизни. Под ее руководством сформировались многие направления современных почвенных исследований на стационаре, где особое место заняли вопросы изучения солевого состояния почв солонцового комплекса и их трансформации под влиянием природных и антропогенных

факторов, в частности, подъема уровня грунтовых вод на Прикаспийской низменности, длительного агролесомелиоративного воздействия.

Современная динамика почвенно-гидрологических условий, не в последнюю очередь, определяется очередным циклом колебания общей увлажненности в регионе на фоне устойчивого повышения температуры воздуха, которая, по сравнению с серединой XX века, составила 2.73°C . Этот период с начала 2000-х годов из всех 70 лет наблюдений оказался наиболее засушливым: коэффициент увлажнения (КУ) не превышает значений 0.24 ± 0.07 вследствие постоянно жарких вегетационных сезонов и повторяющихся из года в год в течение шести лет (2006-2012 гг.) сильных засух.

В целинных условиях в почвенно-грунтовой толще из-за отсутствия поступления дополнительного увлажнения с талыми снеговыми водами в понижения микрорельефа (на фоне поднявшегося с середины 80-х годов XX века уровня грунтовых вод) продолжается накопление легкорастворимых солей, особенно хлоридов и сульфатов Na^+ .

В агролесомелиоративных системах сохраняется сформировавшееся на предыдущих этапах мелиорации солонцов элювиально-иллювиальное перераспределение солей в почвенно-грунтовой толще. Продолжает существовать верхняя зона рассоления почв мощностью 1-1.5 м, достаточная для выращивания сельскохозяйственных культур.

В 70-летних лесных насаждениях, сохранившихся в виде колков на лугово-каштановых почвах в понижениях микрорельефа (западинах), несмотря на сильный эвапотранспирационный расход и засоление нижней части почвенно-грунтовой толщи, водно-солевой режим почв из-за периодического дополнительного накопления снега в полосах остается благоприятным для сохранности насаждений в удовлетворительном состоянии и выполнении ими мелиоративной функции.

В срединной части массивных лесных насаждений из дуба черешчатого и вяза приземистого в мезопонижениях рельефа (падинах) к 70-летнему возрасту деревьев произошло усыхание большей части экземпляров. Этому способствовало неблагоприятное водно-солевое состояние почвенно-грунтовой толщи, связанное с высоким десуктивным расходом грунтовых вод, исчезновением пресной линзы из-за отсутствия ее пополнения при весеннем затоплении падин, загущенность насаждений, появление нежелательного многочисленного самосева. Эти же причины привели к сокращению коллекции интродуцентов в дендрарии Джаныбекского стационара со 120 до 73 видов древесных и кустарниковых растений. Выявленный негативный тренд аридизации целинных и антропогенных ландшафтов полупустыни Северного Прикаспия и вызванная засушливым периодом современная динамика солевого состояния почв приводят к определенным сомнениям по поводу дальнейшего существования и функционирования искусственных лесных экосистем в этих условиях.

В то же время, с учетом выявленных особенностей их природно-антропогенной динамики, очевидно, возможно создание устойчивых древостоев на лугово-каштановых почвах (западинах и падинах).

Джаныбекский стационар как Памятник природы федерального значения и Памятник плеяде выдающихся ученых нашей страны, создававших, изучавших, сохранивших его, продолжает жить, давая возможность новым поколениям российских ученых постигать закономерности развития экосистем.

* - Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект № 23-24-00164).

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ВЫТЯЖЕК ИЗ ХВОЙНЫХ ФРАКЦИЙ ПОДСТИЛОК ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ НА РОСТ И СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA VULGARIS*

Хлевная В.С.^{1,2}, Грачева Т.А.¹, Горин К.В.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: tanyadunaeva12@mal.ru;

²Научно-Исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, e-mail: xlevnaya@inbox.ru, e-mail: gkvbio@gmail.com

Процессы, протекающие в подстилках, согласно литературным данным ответственны за образование от 25-40% до 90% углекислого газа атмосферы. На активность процесса влияют такие параметры как прогреваемость подстилок и наличие влаги, которые существенно возрастают в городских условиях за счет наличия большого числа твердого темного покрытия (асфальт, плитка), нагревающегося на солнце и препятствующего проникновению влаги в почву. В связи с этим актуальным является исследование возможности миксотрофного культивирования микроводорослей с использованием вытяжек из различных, в том числе и хвойных, фракций подстилок с целью снижения эмиссии диоксида углерода. Городские талые воды также являются ресурсом, который человек практически не использует в своей деятельности. Более того, весенние талые поверхностные стоки насыщены солями, которые при попадании в местные водоемы могут вызвать их цветение и, как следствие, нарушения в жизнедеятельности водной экосистемы. Применение поверхностных талых вод при изготовлении питательных сред для культивирования микроводорослей является выгодным способом их использования, что позволит осуществлять мероприятия по очистке сточных вод, экономить водные ресурсы при изготовлении культуральных сред и выращивать микроводоросли, активно поглощающие углекислый газ и служащие сырьем для многих сфер промышленности. При культивировании микроводоросли *Chlorella vulgaris* возможно получение полностью биоразлагаемого пластика, субстанций для косметологии и фармакологии, биодобавок, а также биотоплива, что особенно актуально в рамках данной работы.

Объектом исследования служила культура микроводорослей *Chlorella vulgaris* GKV 1. Выбор микроводоросли обусловлен ее хорошей изученностью, высокой скоростью размножения и использованием в биотехнологии. Образцы хвойной фракции подстилок были отобраны в зеленых насаждениях на окраине Битцевского парка (еловая хвоя), а также в зеленых насаждениях парка «Воробьевы горы». Талые воды были собраны после весеннего снеготаяния на территории Москвы.

При использовании вытяжек из хвойной фракции подстилки стандартная методика изготовления вытяжки была модифицирована. Дистиллированная вода при экстракции была заменена на поверхностные талые воды, что позволило обогатить культуральную среду минеральными компонентами питания, а так же было изменено соотношение фракция подстилки:вода с 1:25 на 1:33, благодаря чему снизилось затемнение среды.

Культивирование проводилось в колбах Эрленмейера объемом 250 мл, объем культуральной среды составлял 100 мл. Колбы на протяжении культивирования находились в шейкере-инкубаторе, где проводилось их круглосуточное освещение, перемешивание и барботирование, температура поддерживалась на уровне 30° С. В течение культивирования проводилось снятие кривых роста культуры путем прямого счета клеток в камере Горяева. По окончании культивирования суспензии центрифугировались, затем биомасса анализировалась на состав жирных кислот.

Культивирование продолжалось в течение 11 дней. По окончании культивирования прирост клеток свидетельствовал о более активном росте микроводоросли на контрольных средах – стандартной минеральной среде ВВМ и среде ВВМ с добавлением глюкозы. Среди исследуемых образцов более активный рост наблюдался на вытяжке из еловой хвойной фракции подстилки Битцевского парка, что объясняется более высоким содержанием в ней азота и фосфора, являющихся одними из самых необходимых элементов питания.

УДК 631.417.1

ПУЛ УГЛЕРОДА В БИОГЕОЦЕНОЗАХ ЕСТЕСТВЕННЫХ СУХОДОЛЬНЫХ ЛУГОВ ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Чумбаев А.С., Смоленцева Е.Н., Коронатова Н.Г., Соловьёв С.В.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, chumbaev@issa-siberia.ru

Роль наземных экосистем России в регулировании глобального цикла углерода невозможно переоценить, однако до сих пор в нашей стране отсутствует единая национальная система мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в экосистемах суши. Одной из задач при создании такой системы является оценка запасов углерода в почвенном и растительном покрове различных естественных биогеоценозов страны. Для такой оценки по всем регионам страны в 2023 году были созданы тестовые полигоны и постоянные пробные площади, где на единой методической основе были проведены наземные измерения и получена информация о величине пула углерода. Целью нашей работы была оценка пула углерода в травяных биогеоценозах (БГЦ) лесостепной зоны Западной Сибири (ЗС). Для определения пула углерода в естественных луговых БГЦ лесостепной зоны Новосибирской области было заложено 5 пробных площадей (ПП), характеризующих один из доминирующих компонентов лесостепного ландшафта. Площадь каждой из них составляла около 2500 кв. м. Работы на ПП включали геоботанические, почвенные и биогеоценозические исследования. На каждой ПП были выделены доминирующее по площади и два сопутствующих растительных сообщества, проведены их геоботанические описания, заложено по три почвенных разреза (под каждым из выделенных растительных сообществ), отобраны образцы для определения величины надземной и подземной фитомассы. В растительном покрове оценку пулов Собщ проводили надземной живой растительной фитомассе, ветоши и подстилке. Пул элементов в растительности в подземной сфере определяли по 10-сантиметровым слоям до глубины 30 см. Пул углерода в почвах рассчитывался как сумма запасов Собщ в органическом горизонте подстилки (О) и в слое 0–100 см минеральных почвенных горизонтов. Также был вычислен запас Собщ в слое 0–30 см. В высушенных и растёртых растительных и почвенных образцах на CHNS-анализаторе vario MICRO cube определено содержание общего углерода (Собщ, %) и азота (Nобщ, %). Растительность ПП характеризуется преобладанием злаково-разнотравных остепнённых лугов. Растительный покров представлен одним травяным ярусом, подъярусы имеют плавные переходы. Общее проективное покрытие варьирует в пределах 90–98%. Средняя высота травостоя 50–70 см, максимальная высота составляет 120–150 см. Общее количество видов, встреченных на площадках равно 106, а видовая насыщенность варьирует от 50 до 71 вида. В сообществах встречаются такие виды как *Dactylis glomerata*, *Bupleurum longifolium* ssp. *aureum*, *Calamagrostis epigeios*, *Helictotrichon pubescens*, *Rubus saxatilis*, *Galium boreale*, *Bromopsis inermis*, *Filipendula ulmaria*, *Thalictrum minus*, *Fragaria viridis* и др. Почвенный покров ПП образуют два типа почв: чернозёмы глинисто-иллювиальные и тёмно-серые. Морфологические признаки свидетельствуют об значительной аккумуляции органического вещества в почвах ПП луговых БГЦ ЗС, что подтверждается результатами определения в них содержания углерода (Собщ, %) и азота (Nобщ, %). В чернозёмах глинисто-иллювиальных содержание Собщ в верхних 20 см очень высокое (8–12 %), в тёмно-серых – высокое (5–7%). Распределение Собщ по профилю резко убывающее, и на глубине 60 см его содержание составляет 1–2%. В срединных горизонтах содержание Собщ не превышает 1%. В почвообразующей породе содержание Собщ увеличивается за счёт неорганического углерода карбонатов. Так как чаще всего карбонаты в почвах ПП залегают на глубине более 1 м, углерод в их составе не влияет на пул почвенного углерода в слое 0–100 см. Содержание Nобщ в почвах ПП высокое в верхних 20 см, характер распределения по профилю также резко убывающий, как и для углерода. Запас Собщ в почвах в слое 0–30 см в среднем составляет 188 т/га и варьируется от 95 до 259 т/га. В слое 0–100 см в среднем содержится 350 т/га почвенного углерода, пределы его

варьирования 167 – 497 т/га. Запас С_{общ} в подстилках изученных почв в среднем составляет 2,2 т/га и меняется от 0,9 до 4,5 т/га. Доля подстилки в суммарных (подстилка+почва) запасах почвенного углерода незначительна, она варьируется в пределах 0,2–1,2% и в среднем равна 0,7%. Общий пул почвенного углерода (подстилка+почва) в слое 0–100 см для луговых БГЦ Новосибирской области составляет в среднем 352 т/га и варьируется от 168 до 498 т/га. Таким образом, в луговых БГЦ лесостепной зоны ЗС основной пул почвенного углерода сосредоточен в минеральных горизонтах почв.

Общий запас надземной и подземной растительной биомассы на пяти ПП был в пределах от 2420 до 3460 г/м² абсолютно сухого вещества, в среднем 2837±54 г/м², а медианное значение составило 2812 г/м². В сложении общей биомассы 70% принадлежит подземным органам растений, 16% – надземной мортмассе и лишь 13% – надземной фитомассе. Содержание углерода в надземной фитомассе изученных биогеоценозов варьировалось между видами от 44,7 до 50,0% в пересчёте на абсолютно сухую массу, в подземных органах – от 44,2 до 51,4%. Среднее содержание углерода в группе разнотравья и бобовых было незначительно выше, чем у злаков. Содержание углерода в ветоши составило 45,8±0,2, в подстилке – 46,4±0,3%, разница в содержании С в этих фракциях мортмассы была статистически значима (t-тест: F = 2,0806, p = 0,0319). Средний по всем ПП пул углерода в надземной сфере составил 178±8 г/м², в подземной – 954±44 г/м² в слое 0–30 см. Пул углерода надземной мортмассы (ветошь и подстилка) вносит от 47 до 61% от общего пула углерода надземной биомассы; а в среднем составил 216±21 г С/м². Суммарное для всей растительной биомассы значение пула в луговых сообществах оценено в 1350 г С/м². При этом в верхних 30 см почвы депонируется в 1,9-2,4 раза больше С и N, чем в надземной растительной биомассе. По результатам наземных исследований, проведённых на ПП, установлено, что суммарный пул углерода почв и растительного вещества всех фракций (надземной и подземной) в луговых БГЦ лесостепной зоны на территории НСО составил в среднем 363,87 т/га. Доля углерода растительности в общем запасе углерода составила 3,2%.

"Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6)".

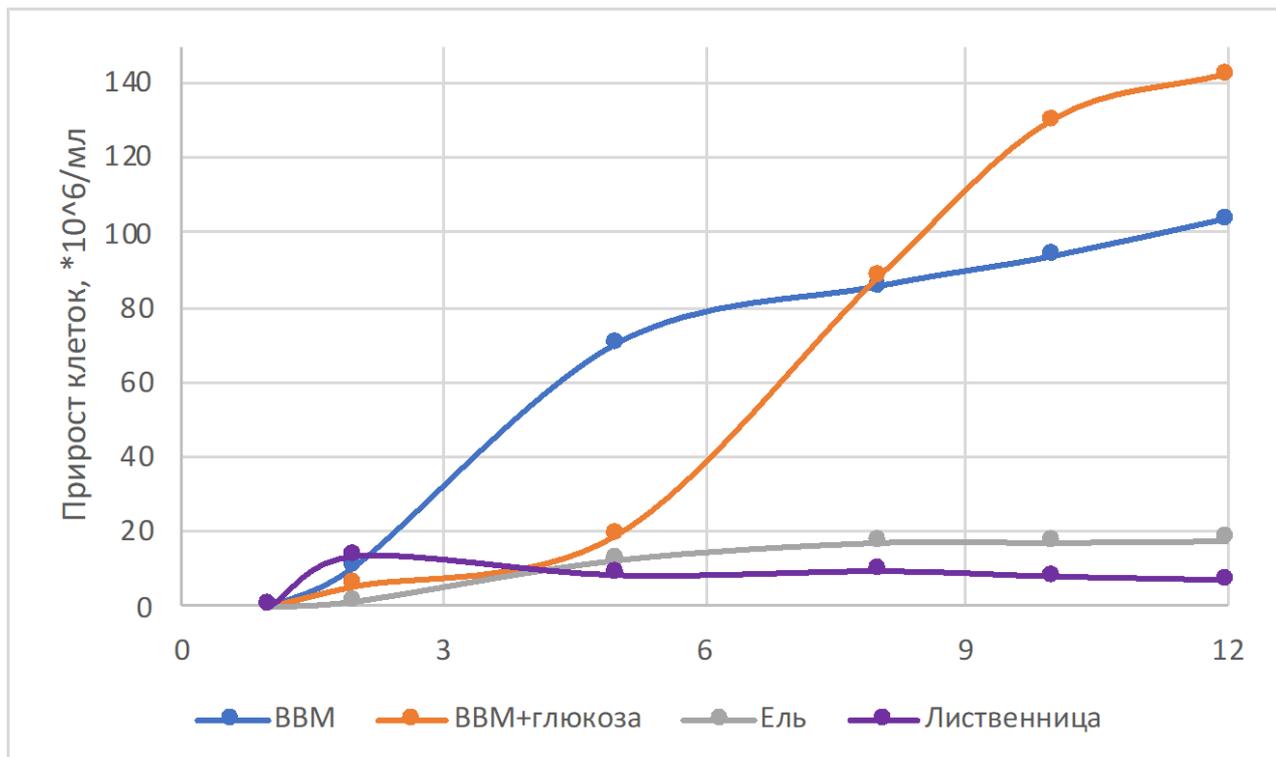


Рис. 1: Прирост клеток при культивировании микроводоросли *Chlorella vulgaris* на различных средах

УДК 550.42(571.53)

КОРРЕЛЯЦИЯ И ОТНОШЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ УРАНА И ТОРИЯ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ ЛЕСНЫХ ФИТОГЕОЦЕНОЗОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

Швецов С.Г., Воронин В.И.

ФГБУН СИФИБР СО РАН, Иркутск, e-mail: shvetsov@sifibr.irk.ru

Измеряли содержание природных урана и тория в почвах и растениях лесных (горнотаежных) экосистем юго-западного Прибайкалья. Растительность – сосновые леса с примесью березы, лиственницы, пихты и кедра; идентифицированные на пробных участках почвы – бурозем карбонатный, бурозем типичный, дерново-подзолистая почва, элювозем глеевый, дерново-подбур, дерново-подзол, подзолистая почва. На основании полученных данных, применяя сравнительный анализ, изучали закономерности распределения этих элементов между компонентами фитогеоценоза. Общее количество урана и тория в почве и связанных с ней, растениях определялось концентрацией этих элементов в почвообразующей породе, физико-химическими свойствами и типом почвы, эколого-географическими условиями, массой и составом фитоценоза. Геохимическим барьером в почве для урана и тория в исследованных почвах являлся гумусово-аккумулятивный горизонт (гумусовые вещества), а для урана – еще и иллювиальный горизонт (глинистая фракция). Характер распределения и содержание естественных урана и тория в основных компонентах исследуемых фитогеоценозов свидетельствовали о накоплении урана и тория преимущественно в почвенном слое: средняя валовая концентрация урана в почвах составляет 3,2 мг/кг, в почвообразующей породе 2,8 мг/кг, в фитомассе – 0,25 мг/кг; для тория те же показатели равны 7,6 мг/кг, 10,6 мг/кг и 0,52 мг/кг, соответственно. Наибольшее количество урана и тория содержали почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания массивных кристаллических пород: подзолистая типичная – 4,8 мг/кг урана и 14,6 мг/кг тория, дерново-подзол 4,75 мг/кг урана и 12,6 мг/кг тория, дерново-подбур – 5,1 мг/кг урана и 17,3 мг/кг тория, дерново-элювозем глеевый – 3,7 мг/кг урана и 12,0 мг/кг тория;

наименьшее количество радионуклидов содержали почвы на продуктах выветривания кембрийских доломитов: бурозем типичный – 2,02 мг/кг урана и 4,55 мг/кг тория, бурозем среднекарбонатный – 1,24 мг/кг урана и 1,77 мг/кг тория; промежуточное положение занимала дерново-подзолистая почва на юрских песчаниках – 1,82 мг/кг урана и 4,17 мг/кг тория. Концентрация урана и тория в золе растений зависела от концентрации радионуклидов в почве увеличиваясь в ряду: бурозем карбонатный < бурозем типичный < дерново-подзолистая почва < элювозем глеевый < дерново-подбур < дерново-подзол < подзолистая почва. Концентрация урана в золе деревьев изменялась в пределах 0,117 – 0,200 мг/кг; кустарников – 0,213 – 0,335 мг/кг; покровных растений – 0,225 – 0,371 мг/кг; этот же показатель для тория изменялся в пределах 0,251 – 0,454 мг/кг в деревьях; 0,332 – 0,527 мг/кг в кустарниках; 0,343 – 0,445 мг/кг в покровных растениях. Содержание радионуклидов в корнях растений было заметно выше, чем в надземных органах; в листьях выше, чем в стволах (стеблях). Мох содержал уран в пределах 0,350-0,424 мг/кг, торий – пределах 0,458-0,625 мг/кг. Абсолютное (площадное) содержание урана в золе фитомассы составляло, в среднем, 190 мг/га, в том числе в золе древесных растений – 136 мг/га, покровных растений – 55 мг/га. Этот же показатель для тория составлял, в среднем, 347 мг/га, в том числе древесных растений – 263 г/га, покровных растений – 84 мг/га. Содержание урана в золе корней, стволов и хвои (листьев) деревьев соотносилось как 1,2:1:0,8 (тория – 1,3:1:0,7), а процентное содержание золы в тех же частях растений соотносилось как 5:1:4. Возможно, что такая существенная разница определяется различиями в механизме поглощения исследуемых радионуклидов и биофильных элементов (К, Р, Са, Mg, S), которые количественно преобладают в золе растений. Доступность почвенного урана растениям, оцениваемая по коэффициенту биологического поглощения (КБП_U) была неодинаковой для разных групп растений как в пределах одного фитогеоценоза, так и между разными фитогеоценозами. КБП_U, рассчитанный на общую массу растений и верхний горизонт почв, для деревьев изменялся в пределах 0,028 – 0,178; для кустарников – 0,036 – 0,241; для травянистых растений – 0,100-0,248, то есть деревья поглощали уран менее интенсивно, чем покровные растения. Аналогичным был характер поглощения тория: КБП_{Th}, рассчитанный на общую массу растений и верхний горизонт почв, для деревьев изменялся в пределах 0,018 – 0,123; для кустарников – 0,026 – 0,185; для травянистых растений – 0,094-0,167, то есть деревья поглощали торий менее интенсивно, чем покровные растения. В системе почва-растение можно было выявить 2 цикла круговорота подвижных форм урана и тория – между верхними горизонтами и травянистыми растениями и между нижними горизонтами и древесными растениями. Кустарники относились к промежуточному случаю. Доступность почвенного урана и тория для растений увеличивалась в ряду почв: подзолистая почва > дерново-подзол > дерново-подбур > дерново-элювозем глеевый > дерново-подзолистая почва > бурозем типичный > бурозем карбонатный, что было связано (коррелировало) в этом ряду с уменьшением кислотности почв, утяжелением гранулометрического состава, увеличением емкости катионного обмена и степени его насыщенности основаниями. Средняя величина торий-уранового отношения (Th/U) составляла для почвообразующих пород 3,3, для почв – 2,7, для золы растений – 2,1. Наблюдаемая тенденция изменения этого показателя указывает на относительное обогащение основных компонентов фитогеоценоза ураном, по сравнению с торием при их восходящей миграции от почвообразующей породы через почву в растения.

(К) ПОДКОМИССИЯ. КАРТОГРАФИЯ ПОЧВ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ

УДК 631.47(48)

**ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПОЧВЕННОЙ КАРТЫ ВИСИМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА НА ОЦИФРОВАННОЙ ТОПООСНОВЕ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ QGIS**

Ф.Г. Гафуров, И.Н. Коркина

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, filared.gafurov@yandex.ru

На огромной территории Уральской горной страны до сих пор ни разу не была проведена крупномасштабная натурная почвенная съемка на больших площадях. Следовательно, нет достоверной информации о составе и структуре почвенного покрова этой горной страны. В связи с этим созданная сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН почвенная карта лесной низкогорной части Среднего Урала на территории Висимского государственного биосферного заповедника в М1:25000 на 3508 га имеет большое научно-познавательное и практическое значение.

В пределах обследуемой территории были выполнены морфологические описания почв 222 почвенных выработок (разрезов и прикопок) и отобрано 473 пробы почв по генетическим горизонтам из почвенных разрезов. В них проведено определение гранулометрического состава почв и химических показателей. В почвенных образцах восточной части заповедника, подверженной влиянию Невьянско-Кировградского промузла, определены содержания тяжелых металлов. Все почвенные выработки и их местоположения сфотографированы и привязаны к географическим координатам. В полевых условиях были созданы предварительные наброски почвенной карты на ключевые участки.

Для построения почвенной карты были использованы следующие информационные ресурсы: полевые описания почвенных выработок с точными привязками к географическим координатам; полевая почвенная карта ключевых участков; количественная почвенная характеристика, полученная после лабораторных аналитических работ; предварительно составленная систематика и классификация обнаруженных и описанных почвенных таксономических единиц; распределение биоты и антропогенных факторов на местности; рельеф и морфометрические характеристики территории обследования; литологическое сложение местности и характеристика почвообразующих пород; данные по возрасту обследуемых ландшафтов и их почвенного покрова.

Фактор времени редко используется при разработке почвенных карт по причине недостаточности приемлемой информации. Для приблизительного определения возраста почв наиболее доступными являются методы определения возраста горных пород ландшафтов, на которых развивалась почва. Эти материалы нами взяты из геологических карт и тематических геологических отчетов изысканий.

Для построения почвенной карты был создан проект в программе QGIS 3.32.2, который вобрал в себя несколько тематических слоев: цифровую топографическую карту М1:25000, космические снимки высокого разрешения от 2016-2019 годов из «Google Планета Земля» версия 7.3.6. Также в виде тематических слоев в проект были включены растровые изображения карт М1:25000: четвертичных отложений, доплиоценовой геологической карты и ландшафтной карты, плана лесонасаждений, геоботанической карты. Далее, руководствуясь полевыми почвенными картами ключевых участков, экспертным путем были обрисованы границы почвенных контуров для исследуемой территории на разгруженной цифровой топографической основе.

В результате проведенных полевых исследований выявлено, что различные участки территории заповедника находятся в неодинаковых геоморфологических условиях, характеризуются различным комплексом факторов почвообразования и, соответственно,

своеобразием почв и почвенного покрова. Установлено наличие семи таких участков, которые в ландшафтной классификации могли быть определены как типы местностей, в рамках почвенно-географического районирования как подрайоны, а по геоморфологической терминологии как горные массивы (высотные отметки более 500 м н.у.м.), увалы (высотные отметки не более 500 м н.у.м.), а также долинный комплекс реки Сулем.

Основу почвенного покрова высотных отметок свыше 450-470 м над уровнем моря составляют горные лесные бурые почвы. Ниже этого высотного пояса на картируемой территории горные лесные бурые почвы не встречаются. На щебнистом элюво-делювии плотных силикатных пород каменистых вершин гор и на крутых, прилегающих к вершинам, участках склонов увалов, на курумах в сочетаниях с горными лесными бурыми почвами описаны литоземы грубогумусные. Они занимают небольшие площади в виде пятен в контурах горных лесных бурых почв.

На середине склонов, между высотными отметками 470-450 метров, встречаются буреземоподобные почвы с неясно выраженными признаками оподзоливания в профиле. Именно к бывшему (древнему) гольцовому поясу нижнеолигоценного генезиса приурочены эти почвы с неясными признаками оподзоливания в их профиле. Нами эти почвы по результатам аналитических данных диагностированы как дерновые слабоподзолистые. На высотных отметках ниже пояса распространения горных лесных бурых почв располагается выраженный высотный пояс горных дерново-подзолистых в различной степени оподзоленных, часто коротко профильных, каменистых и нередко глееватых почв. Они сформировались на переотложенных выщелоченных плейстоценовых породах выветривания.

В долинных комплексах речной сети территории заповедника выделены обобщенные контура почв аллювиального генезиса. Это прежде всего пойма реки Сулем и слабовыраженные поймы ее притоков, которые заняты преимущественно аллювиальными дерновыми глеевыми почвами; редко их глееватыми аналогами. Участки поймы реки Сулем с сильно затрудненным дренажом, на притеррасных понижениях и старых руслах, а также выположенные водоразделы межгорных седловин заняты болотными торфяными и торфянисто-глеевыми почвами.

Таким образом, наиболее характерной особенностью структуры почвенного покрова горных систем в центральной части Среднего Урала являются комплексы горных бурых лесных почв с горными дерново-подзолистыми почвами. Такие мозаики сформировались прежде всего благодаря неоднородности по составу и различию в возрасте почвообразующих пород. Основными факторами дифференциации почвенного покрова низкогогорья являются высотная экспозиция и литологическая дифференцированность почвообразующих пород. Генетико-геометрический рисунок горных вершин асимметрично-кольцевой пятнистый, склонов — полосчатый, разреженный наложенно-древовидный. В целом структура почвенного покрова района сложная по строению и сильноконтрастная по составу.

В холмисто-увалистой центральной части заповедника дифференциация почвенного покрова обусловлена литологической неоднородностью почвообразующих пород, высотной поясностью, проявлениями денудационно-аккумулятивных и водно-миграционных процессов. Генетико-геометрический рисунок структуры почвенного покрова (СПП) пятнисто-кольцевидный на вершинах гор и увалов, наложенно-древовидный на склонах и по долинам рек. В целом СПП района средне контрастная по составу и сложная по строению. Описывая облик горных массивов Среднего Урала, следует отметить еще одну важную черту рельефа всей Уральской горной страны – асимметричность западных и восточных склонов, что четко отражается и на структуре их почвенного покрова. Асимметрия Уральских гор обусловлена тектоникой и историей их геологического развития. Восточные и западные склоны по составу почвенного покрова малоразличимы, но по СПП имеются значительные отличия.

УДК 004.032.26: 631.417

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОГНИТИВНОГО ОБРАЗА ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СТРУКТУРЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ МИКРОЭЛЕМЕНТНЫХ BIGDATA ПОЧВ РОССИИ

Ладан С.С.¹, Воробьев Н.И.², Виноградова С.Б.¹, Боднарюк И.Е.¹

¹ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, Москва

²ФГБНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург,

Nik.IvanVorobyov@yandex.ru

При выращивании сельскохозяйственных культур важное значение имеет оценка плодородия почв по содержанию в них микроэлементов. Вынос микроэлементов растениями из почвы зависит от урожая растений. Вынос тем больше, чем больше урожай выращенных растений. Поэтому, по остаточному содержанию микроэлементов в почве в конце вегетационного периода можно оценить размеры урожая выращенных сельскохозяйственных культур. Интенсивность поглощения микроэлементов растениями зависит от влажности почвы и от температуры воздуха. Учитывая это, в свое время было предложено Селяниновым Г.Т. прогнозировать урожай растений гидротермическим коэффициентом эколого-климатических условий, который равен отношению суммы температур воздуха к сумме осадков на рассматриваемых территориях. В итоге, остаточное содержание микроэлементов в сельскохозяйственных почвах должно, в свою очередь, быть связано с урожаями выращенных сельскохозяйственных культур и со значениями гидротермического коэффициента Селянинова.

Целью нашего исследования являлся анализ с помощью вычислительной нейронной сети AgroNN зависимости индекса $CSI_{micro}=0...10$ б/р (Cognitive Saliency Index of Soil Microelements) от гидротермического коэффициента климатических условий в областях Российской Федерации. Нейросеть AgroNN рассчитывает индекс CSI_{micro} , используя цифровые данные содержания В, Cu, Zn, Co, Mn, Fe, S в пашнях Вологодской, Ивановской, Калининградской, Московской, Нижегородской, Псковской, Свердловской, Смоленской, Ярославской областей Российской Федерации, Республики Марий Эл и Пермского края. Во время настройки-обучения нейросети AgroNN были опробованы несколько алгоритмов вычислений индекса CSI_{micro} и анализировалось значение коэффициент корреляции индекса CSI_{micro} с гидротермическим коэффициентом, взятым из опубликованных многолетних данных климатического мониторинга в регионах Российской Федерации. Коэффициент корреляции должен превышать величину 0,8. В итоге, нейросетью были обработаны агрохимические и эколого-климатические данные за 2014-2018 годы.

В результате, с помощью нейросети AgroNN был обнаружен когнитивного образа эколого-климатических условий, присутствующий в преобразованных агрохимических микроэлементных BigData, и удалось подтвердить соответствие образа эколого-климатическим условиям корреляцией значений индекса CSI_{micro} со значениями гидротермического коэффициента эколого-климатических условий в регионах Российской Федерации ($r=0,91$).

Таким образом, Применение искусственного интеллекта в анализе многолетних агрохимических BigData позволяет значительно расширить научно-исследовательские возможности агрохимического анализа почв, а предложенный нейросетевой анализ микроэлементных агрохимических BigData почв может стать основой новой методики классификации аграрных территорий в Российской Федерации.

УДК: 631.4

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЛОС С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕЛИНСКОГО И РЕМОНТНЕНСКОГО РАЙОНОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Меженков А.А., Жолудев Р.О., Литвинов Ю.А., Безуглова О.С.

В настоящий момент полезащитные и противоэрозионные лесные насаждения недостаточно контролируются государством и руководителями сельскохозяйственных предприятий. Лесные полосы служат для защиты сельскохозяйственных угодий (в частности, пашни) от неблагоприятных факторов окружающей среды, а также для препятствования развитию ветровой и плоскостной водной эрозии. Известно, что состояние лесных полос напрямую влияет на выживаемость сельскохозяйственных культур и, как следствие, на конечную урожайность. Именно поэтому необходимо отслеживать и динамику изменения их площади во времени.

Оценка динамики площади лесных полос была проведена для территории Среднегорлыкского сельского поселения Целинского района Ростовской области и Краснопартизанского сельского поселения Ремонтненского района Ростовской области. Оценка проведена путем сравнения архивных данных, полученных из отчета почвенных обследований хозяйств бывшего СССР с актуальными данными по датированному многоканальному космическому снимку Landsat. Работа проводилась методом ручной векторизации и методом выделения соответствующих для древесной и кустарниковой растительности значений NDVI, рассчитанных для данной территории.

Результаты показали, что для Среднегорлыкского сельского поселения Целинского района Ростовской области существенных изменений в площади лесных полос не наблюдается. По архивным данным за 1994 год площадь лесных полос на территории ТОО Московское, входящего в границы этого поселения, составляет 571 га. Площадь полезащитных лесных насаждений на 2023 год для этой территории составляет 591 га для метода ручной векторизации и 599 га для оцифровки по слою со значениями NDVI. Отмечается увеличение площади лесных полос в пределах 3,5–5%. Это объясняется благоприятным для произрастания лесных полос климатом и преобладанием в почвенном покрове сельского поселения и в целом района черноземов обыкновенных.

Для Краснопартизанского сельского поселения Ремонтненского района Ростовской области наблюдается существенное снижение площадей полезащитных и противоэрозионных лесных насаждений. По архивным данным для совхоза «Красный партизан» в 1991 год площадь лесных полос составляла 551 га. В 2017 году площадь защитных лесных насаждений составила 163,6 га при определении методом ручной векторизации и 205,3 га при оцифровке по слою со значениями NDVI. Отмечено снижение площади лесных полос на 60–70% в сравнении с 1991 годом, что объясняется засушливым климатом сухостепной зоны, преобладанием в почвенном покрове каштановых и светло-каштановых почв в комплексе с солонцами, а также отсутствием контроля за состоянием лесных полос на протяжении многих лет.

Таким образом, на сегодняшний день осуществляется недостаточный контроль за состоянием лесных полос несмотря на то, что они выполняют важнейшую функцию, противодействуя ветровой и плоскостной водной эрозии и препятствуя деградации почв. Особенно важен этот контроль на территориях с засушливым климатом и малопродуктивными почвами, где масштабы и скорость выпадения лесных полос выше.

УДК 631.4

АГАТОПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И МЕТОДЫ ИХ
КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Рухович Д.И., Вильчевская Е.В.

ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Москва, e-mail: soilmap@yandex.ru

Изучение структуры почвенного покрова (СПП) в крупных и детальном масштабах - сложная задача, связанная с большим объемом наземных изысканий. Развитие систем точного земледелия (СТЗ) ставит перед картографированием СПП новые задачи и масштабы исследования. Так, традиционное крупномасштабное почвенное картографирование ведется в масштабах 1 : 25 000 и 1 : 10 000, но является недостаточным для СТЗ, т.к. сельскохозяйственное (с.х.) поле делится на один-три контура. Детальное картографирование СПП ведется лишь на ключевых участках. Почвенная съемка ключевых участков позволяет дать некоторые характеристики неоднородности территории, но как суммарную, а не картографическую характеристику с.х. поля целиком. В то же время внутривоспользовательная неоднородность с.х. земель формирует различные зоны плодородия в рамках одного поля, которые могут отличаться по продуктивности с.х. культур на десятки процентов или в разы. То есть необходимы методы картографирования СПП в детальном масштабах (1 : 5 000 или 1 : 2 500) на всех площадях хозяйства (5 000 га и более). Традиционно при детальном изучении структуры почвенного покрова почвенные комбинации (ПК) разделяются на комплексы, пятнистости, сочетания, вариации, мозаики и ташеты. Причинами формирования ПК являются микрорельеф, мезорельеф, почвообразующие породы. Агатоподобные СПП сложно отнести к вышеизложенной классификации и перечисленным причинам образования. Прежде всего, агатоподобные структуры имеют ярко выраженную кольцевую форму (иногда полосчатую), которая не связана напрямую с рельефом (см. Рисунок). Во-вторых, генетически агатоподобные структуры формируются одной и той же почвой, хотя и с разной степенью каменистости. Более того, согласно геологической карте четвертичных отложений, почвы сформированы на одних и тех же четвертичных суглинках. Основным отличием является глубина подстилания коренных пород, не вовлеченных (или крайне мало вовлеченных) в процесс почвообразования.



Агатоподобные СПП являются следствием своеобразного сочетания залегания четвертичной толщи различной мощности поверх пермских карбонатных отложений. Очевидно, что вскрыть подобную структуру наземными методами сложно даже на ключевых участках. В

связи с этим подобные структуры вскрыты и не были, что показывают почвенные карты крупных масштабов.

Предложенное название "агатоподобные структуры почвенного покрова" связано с их проявлением на данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Когда поле находится в состоянии открытой поверхности почвы (ОПП) синтез некоторых каналов ДДЗ дает рисунок изображения, напоминающий срез минерала агат, особенно Тиманского происхождения.

На больших площадях редко можно подобрать ДДЗ, где большие площади с.х. земель находятся в состоянии ОПП. Поэтому агатоподобные структуры выделяются в рамках методологии построения карт коэффициентов мультитременной линии почвы (МЛП). МЛП рассчитываются на основе многолетних рядов ДДЗ в период с 1984 по 2024 годы (сцены Landsat 4, 5, 7, 8, 9). При этом на ДДЗ необходимо распознать области распространения ОПП, т.к. МЛП строится для каждого пикселя ДДЗ в состоянии ОПП.

Выделить ОПП на тысячах снимков ДДЗ за 35-37 лет можно, но сложно и долго. Для этого необходимо для каждого кадра ДДЗ строить графики "шапочки с кисточкой" в спектральном пространстве RED-NIR. Хорошие результаты дает применение искусственного интеллекта в виде нейронных сетей, обеспечивающее распознавание ОПП в автоматическом режиме.

Описанные агатоподобные СПП и методы их выявления на основе нейронных сетей, позволяют широко внедрять карты СПП для нужд СТЗ.

УДК 631.4 + 004.9

РАСЧЕТ И ДИНАМИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КАРТЫ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ РОССИИ

Чернова О.В.¹, Аврамова О.Д.², Голозубов О.М.²

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, ovcher@mail.ru ;

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, olga.avraamova@gmail.com; oleggolozubov@gmail.com

Введение. Почвенный покров, в котором сосредоточено две трети запасов органического углерода (ОУ) суши, может быть источником или поглотителем парниковых газов в зависимости от типа землепользования. Глобальные оценки запасов углерода в почвенном покрове требуются для построения балансовых углеродных моделей, разработки стратегий устойчивого землепользования и принятия политических решений. Большая часть таких оценок базируется на мелкомасштабных картах, которые характеризуются значительной неопределенностью, особенно высокой для регионов с ограниченным количеством фактической информации. Активно развивающееся цифровое картографирование почв позволяет связать информацию о свойствах почв с объясняющими переменными – предикторами, при этом одним из предикторов, максимально влияющих на запасы углерода, является классификационная принадлежность почвы. Учитывая многообразие почвенных классификаций и несовпадение в них границ типологических выделов, мы полагаем, что при крупномасштабном цифровом картографировании запасов углерода в почвах конкретных регионов в качестве предиктора более целесообразно использовать мелкомасштабную карту запасов углерода в слое почвы заданной мощности для всей территории страны. Развитие информационных технологий позволяет разрабатывать алгоритмы использования цифровых почвенных данных с вовлечением в расчеты вновь поступающей информации и оперативно внедрять их в научную и производственную практику.

Целью исследования была разработка и реализация алгоритмов расчета и динамического формирования карт запасов органического углерода в слоях почвы заданной мощности для территории Российской Федерации.

Объекты и методы. Работа выполнена на основе Информационной системы «Почвенно-географическая база данных Российской Федерации» (ИС ПГБД РФ, <https://soil-db.ru/attr>) с использованием профильной (атрибутивной) базы данных (БД) и векторной версии

Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2 500 000 (под ред. Фридланда, 1988), дополненной Почвенной картой Крыма (Урусевская и др., 2019). Современная версия Почвенной карты России (ПКР) представлена на сайте <https://soil-db.ru/map?lat=45.0404&lng=36.7987&zoom=7>. Профильная БД в настоящее время объединяет три БД: Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (2014); «Почвы – объекты региональных Красных книг почв»; «Органический углерод почв лесных экосистем европейской территории России» (Подвезенная и др., 2020) и содержит информацию о 1146 полнопрофильных разрезах (более 6700 образцов почв из генетических горизонтов), репрезентативных для 205 почвенных разновидностей легенды ПКР, охватывающих всю территорию страны. БД размещена в СУБД MS SQL Server 2016 с поддержкой работы с пространственными данными, контурные данные (почвенные карты) и точечные данные (атрибутивные таблицы) в отдельных таблицах хранятся в географической системе координат в БД, вместе с расчетными процедурами и функциями, представляющими собой SQL-скрипты. Сервер СУБД функционирует на суперкомпьютере «Ломоносов-2» в составе Центра коллективного пользования ИС ПГБД РФ. Сервер предоставляет доступ к пространственным данным как из веб-приложений, так и из настольных ГИС общего пользования.

Результаты. Разработана программа автоматического расчета запасов органического углерода в слое почвы произвольной мощности до глубины 100 см в ИС ПГБД РФ.

Исходными данными являются следующие показатели для каждого горизонта в пределах рассматриваемой толщи: содержание углерода, %; плотность (объемная масса) горизонта в естественном сложении, г/см³; степень каменистости, %; мощность горизонта, см. Основные числовые показатели извлекаются из профильной БД. Предложен набор унифицированных алгоритмов и пересчетных коэффициентов, позволяющих рассчитывать запасы углерода для всего разнообразия почв РФ на основе аккумулированных в БД данных, в том числе неполных или разреженных, взаимно дополняющих друг друга.

Одним из источников неопределенности оценок запасов почвенного углерода является недостаток данных о плотности почв в естественном сложении. На основе имеющегося массива данных опробована применимость нескольких предложенных разными авторами педотрансферных функций (ПТФ), которые позволяют прогнозировать плотность почв в зависимости от других известных характеристик, при этом наилучшие результаты показало использование пятипараметрической нелинейной функции О.В. Честных и Д.Г.

Замолотчикова (2004). Значения плотности минеральных горизонтов практически всех 205 почв - выделов легенды ПКР (кроме вулканических) могут быть рассчитаны на основе этой ПТФ при использовании 6 групп параметров уравнения, условно названных «Таежными», «Тундровыми», «Торфяными», «Луговыми», «Степными» и «Сухостепными», подобранными для соответствующих групп генетически сходных почв. Проверка применимости ПТФ и параметров уравнения на независимых массивах данных, выявила удовлетворительную точность расчетов, сравнимую с точностью экспериментальных определений. Для органогенных горизонтов (с содержанием органического вещества более 15%) использование ПТФ дает неудовлетворительные результаты, поэтому для этих горизонтов использованы усредненные значения плотности, полученные из литературных источников или экспертные оценки. Данные о мощности горизонтов извлекаются из описаний разрезов в БД, запасы углерода для всех составляющих профиль слоев/горизонтов рассчитываются без пропусков до обеспеченной фактическими данными глубины. В процессе работы программы данные, входящие в состав исходной базы, не изменяются. Все вычисления выполняются с помощью служебных (временных) таблиц, хранимых процедур (stored procedure), функций и представлений (View). Основная часть вычислений запрограммирована в виде SQL-запросов к базе данных. Функция вычисления запасов реализована как скалярнозначная хранимая функция MS SQL Server 2016.

Программа позволяет вычислить запасы органического углерода в произвольном слое почвы, причем вклады органогенных и минеральных слоев рассчитываются отдельно. На сайте

(<https://soil-db.ru/map?lat=55.9737&lng=46.6479&zoom=6>) реализована возможность поиска-запроса опорных разрезов с визуализацией их расположения на подложке ПКР. Запасы органического углерода для целевых глубин: 0-30, 30-50 и 50-100 см приводятся в отдельной таблице для каждого разреза.

Полученные для конкретных разрезов значения запасов углерода усредняются для каждой почвы - выдела легенды ПКР. Для слоев почвы 0-30, 0-50 и 0-100 см вычислены усредненные общие запасы органического углерода, а также отдельно в органогенных и минеральных горизонтах. На основе этих данных рассчитываются запасы углерода для целевых слоев и горизонтов для каждого полигона ПКР с учетом состава почвенного покрова. В почвенных комплексах запасы углерода рассчитываются пропорционально числу почв, составляющих комплекс. Для комплексов, включающих две почвы, долю первой принимали равной 60%, второй – 40%; в трехчленных комплексах - 34, 33 и 33%, соответственно. В комплексах почв с участием мерзлотных трещин на них отводили 25% общей площади. При оцифровке карты было принято, что на основные (преобладающие в пределах полигона) и сопутствующие почвы/ почвенные комплексы приходится следующая площадь: при 1 сопутствующей – 75 и 25 %; при 2 сопутствующих – 65 и 35 (17,5 и 17,5) %; при 3 сопутствующих – 55 и 45 (15, 15, 15) %, соответственно.

На основе указанных данных на сервере рассчитывается мелкомасштабная карта запасов углерода для территории России в векторном формате, которая экспортируется в любую ГИС, где визуализируется в соответствии с выбранными диапазонами и сопровождается легендой, при необходимости карта может быть представлена в растровой форме. Благодарности. Работа выполнена по теме научного проекта РФФ № 22-14-00107

(L) ПОДКОМИССИЯ ПО МИКРОМОРФОЛОГИИ ПОЧВ

УДК631.48

КРИОГЕННЫЕ ПРИЗНАКИ В МИКРОСТРОЕНИИ ГЛУБОКОПРОМЕРЗАЮЩИХ И МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ТЯЖЕЛОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

¹Гынинова А.Б., ^{2,3}Герасимова М.И., ³Лебедева М.П., ¹Бадмаев Н.Б.

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ *

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва

³Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, Москва

ayur.gyninova@mail.ru

Исследования криогенных признаков микроморфологического строения глубокопромерзающих и мерзлотных почв диктуется сложностями по определению их классификационного положения (Соколов и др., 1980).

Цель: Выполнить сравнительный анализ микроморфологического строения почв тяжелого гранулометрического состава, формирующихся в условиях глубокого и длительного промерзания и в зоне распространения многолетнемерзлых пород.

Объектами исследования являются луговые подбелы равнин Приамурья и черноземы мерзлотные Забайкалья, климатические условия в которых имеют существенные отличительные черты (табл. 1). Объединяет их то, что и те и другие формируются под влиянием криогенного фактора.

Показатели климата		Юг Витимского плоскогорья	Западная часть Среднеамурской низменности
Среднегодовая температура		-4,1 °	+1,6
∑ осадков		410 мм	620
Продолжительность периода	зимнего	5,5 мес	4,5
	летнего	2-2,5 мес	3-3,5 мес
Глубина залегания ММП		2,5-3 м	-
Глубина промерзания		-	1,5-2 м

Профиль равнинной почвы Забайкалья состоит из горизонтов: AUдерн. (0-9 см) - AU(9-24/25) - AUBI(24/25-38/45) - BI(38/45-65/75) - Bca(65/75-89/96) - BCCA(89/96-150) - D(150 - 180). Профиль луговых подбелов Среднеамурской низменности представлен горизонтами: AUдерн.(0-9) – AU(9-23/32) – ELnn(23/32-42) – VTcrh(42-90/100) – VTg(90/100-130) – BCg(@)(130-150).

К общим чертам морфологического строения относятся: задернованность поверхностного горизонта, творожистая или икрянистая структура срединных горизонтов, наличие вертикальных межгоризонтных трещин.

Отличия: В связи с большим запасом влаги в предзимний период в луговых подбелах ярко выражена миграция влаги к фронту промерзания, аккумуляция в подгумусовой части профиля и вынос веществ весной с тальми водами (криоэлювогенез). Указанный процесс играет большую роль в осветлении почвенной массы горизонта EL. Межгоризонтные трещины в луговых подбелах заполняются осветленным веществом, в связи с чем образуются осветленные вертикальные полосы, а в черноземе мерзлотном трещины заполняются гумусированным веществом и имеют темно-серый цвет. В нижней части профиля чернозема формируется карбонатный горизонт.

В микростроении к общим чертам относятся: формирование преимущественно гумуса мулль в горизонтах AU; в горизонтах BI и VTcrh - округлых агрегатов, нередко сцементированных гидроксидами железа и покрытых глинистыми кутанами ооидного строения, а также Fe-нодулей. Ниже текстурных горизонтов характерно образование массивной микроструктуры, яркой микроразнообразности по железу, признаков застойно-глеевых процессов, связанных в одном случае с надмерзлотной аккумуляцией влаги, в другом – поступлением влаги в период снеготаяния и муссонных дождей.

Отличия микростроения заключаются: в плитчатости микроструктуры и отсутствии пленок на зернах первичных минералов в подгумусовых горизонтах луговых подбелов, обусловленной криоэлювогенезом и приуроченность к этому горизонту максимума в содержании Fe-нодулей. Карбонатная пропитка почвенной массы нижних надмерзлотных горизонтов профиля черноземов мерзлотных.

Механизм формирования подобных криогенных микроструктур можно объяснить развитием следующих процессов. При замерзании почвы происходит перераспределение влаги под влиянием температурного градиента. Процесс перераспределения влаги зависит от их запасов в профиле в предзимний период. Чем больше запасов влаги, тем больше ее аккумуляция у фронта промерзания зимой в виде шлиров. При этом влага может накапливаться значительно больше полной влагоемкости почвы (Гынинова, 1991, Куликов и др., 1997). В период таяния это обуславливает развитие криоэлювогенеза (Ершов, 1979), когда с талой водой выносятся коллоиды и растворенные вещества. Остаются песчаная и

пылеватая фракции первичных минералов, отмытые от пленок. Этот процесс ярко выражен в луговых подбелах.

Преобразование воды в кристаллическое вещество сопровождается увеличением объема и разделением твердой и жидкой влаги по содержанию растворенных веществ (Тютюнов, 1960). Последнее происходит благодаря образованию чистых кристаллов льда на первом этапе замерзания и, одновременно, концентрации растворенных веществ в жидкой фазе, преобразующейся в лед при более низкой температуре. Известно, что количество незамерзающей влаги в глинистых почвах может достигать >10% даже при температуре -10...-11°C (Куликов и др., 1997). В результате образуются сцементированные гидроксидами железа агрегаты и плотные нодулы.

В случае наличия многолетней мерзлоты влага под влиянием температурного градиента передвигается вниз по профилю в теплый период и увлекает растворенные вещества. Очевидно, это способствует выпадению карбонатов из раствора в нижней части профиля черноземов.

Таким образом, различные условия влияния криогенного фактора вызывают формирование различных типов почв. Однако такие признаки как криогенное оструктуривание срединных горизонтов в исследованных почвах имеет большое сходство.

Работа выполнена при поддержке бюджетного финансирования по темам НИР: № 121030100228-4ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, № 0591-2019-0028 и 0439-2022-0013ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им.В.В. Докучаева».

УДК 631.46

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОВРЕМЕННОГО И РЕЛИКТОВОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ГОРНЫХ ТУНДР ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Жангуров Е.В.¹, Лебедева М.П.², Шамрикова Е.В.¹, Королёв М.А.¹, Панюков А.Н.¹

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail zhan.e@mail.ru

² Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail m_verba@mail.ru

Район исследований находится в южной части циркумполярной зоны и охватывает восточный макросклон Полярного Урала к северу от нежилого поселка Полярный (платформа «110 км»), Ямало-Ненецкий автономный округ. Полевые исследования проводили методом заложения почвенно-геоморфологического профиля (топокатены) с протяженностью около 1.5 км и с перепадом абсолютных высот от 265 до 235 м над ур.м. Выбрано четыре опорных разреза (перегнойно-криометаморфическая глееватая остаточно-карбонатная; перегнойно-темногумусовая остаточно-карбонатная; перегнойно-темногумусовая криометаморфическая остаточно-карбонатная; дерново-криометаморфическая остаточно-карбонатная). Профили заложены в верхней, средней и в нижней части склона С-В экспозиции хребта Большой Пайпудынский.

Цель работы – выявление особенностей микростроения почв, связанных с различным составом (строением) почвообразующих пород, современными и реликтовыми процессами почвообразования.

Микроморфологические свойства почв изучены в шлифах из ненарушенных микромолитов основных генетических горизонтов почв. Микроморфологические описания проведены по международному микроморфологическому руководству с использованием микроскопа Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26. Специфика факторов и условий почвообразования (мозаичность растительного покрова, гидротермический режим, различная мощность мелкоземисто-щебнистой толщи известняков) обуславливают разное проявление и сочетание элементарных почвообразовательных процессов: поверхностное накопление грубогумусовой подстилки;

интенсивное гумусонакопление и потечность гумуса; криогенный метаморфизм минеральной массы (криогенное оструктуривание); дезинтеграция щебня/дресвы до стадии мелкозема; выщелачивание известковой породы. Общей морфологической особенностью рассматриваемых разрезов является наличие: 1) темноокрашенных грубогумусовых и агрегированных горизонтов, пропитанных Fe-органическим веществом различного генезиса (АУ, АН, Н); 2) полигенетичность агрегатов в поверхностных горизонтах – биогенных, криогенных и пирогенных; 3) полигенетичность почвообразующего материала, в котором присутствуют признаки элювиально-делювиального генезиса с включениями кислого аллохтонного материала.

В сравниваемых разрезах подстилающие породы представлены белыми массивными мраморизованными известняками, в которых заключены фрагменты карбонатных обломков с глинисто-Fe-гумусовых кутанами. Наличие таких специфических кутан на поверхности обломков карбонатных пород позволяет предполагать, что почвообразующий материал сравниваемых почв является педоседиментом – переотложенным материалом палеопочв рубежа позднеатлантического/суббореального периодов голоцена. Согласно радиоуглеродному датированию возраст почв составляет 3040 ± 70 , углистого материала – 6340 ± 30 лет.

Верхние горизонты исследуемых почв отличаются высоким содержанием растительных остатков, в том числе мелких углефицированных тканей, агрегированностью и высокой межагрегатной пористостью, преобладанием глинисто-Fe-гумусового тонкодисперсного вещества. Для почв, сформированных в верхней и в средней части склона, характерно наличие интенсивно темноокрашенных (10YR 2/1) пирогенных горизонтов (АН_{pir}) мощностью до 20-30 см. Наблюдается высокая фрагментированность углистых растительных остатков и биогенная агрегированность сильно разложенных тканей, расположенных между агрегатами с глинистыми тонкими кутанами. Эти особенности обусловлены криогенными процессами при промерзании почв и активной деятельностью почвенной микрофауны в теплые сезоны.

Микромаassa горизонтов CRMca отличаются плазменно-пылеватым составом, уплотнением, массивной структурой низкой пористостью, наличием включений из очень мелких обрывков углистых тканей и относительно крупных Mn-Fe-дендритов, а также большим количеством железистых нодулей разного размера. Встречаются зерна перекристаллизованного кальцита, сильно-трещиноватые и с признаками растворения.

Таким образом, использование комплекса методов и подходов, позволило диагностировать разное проявление и сочетание ЭПП и выявить сложный полигенетический профиль развития отдельных типов почв Полярного Урала.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-002314 «Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация»).

УДК 630*114.31

КРИОГЕННЫЕ «ООИДНЫЕ» СТРУКТУРЫ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ *EISENIA NORDENSKIOLDI* В КРИОМЕТАМОРФИЧЕСКОЙ ПОЧВЕ

Коркина Е.А.¹, Лебедева М.П.²

¹Нижевартовский государственный университет, Нижневартовск, lenaknv@gmail.com;

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, m_verba@mail.ru

Холодные суглинистые пылеватые почвы имеют широкий ареал распространения в таёжной зоне Западно-Сибирской равнины. Как правило они формируются под пологом темнохвойных елово-кедрово-пихтовых зеленомошных лесов. Занимают водораздельные пространства, сформированные в эпоху плейстоцена. Глубоко промерзают и долгий период

времени находятся в промерзшем состоянии. Суглинистые почвы в таких природно-климатических условиях накапливают подстилочный материал. Короткий вегетативный период не позволяет активно включиться биотическому фактору и трансформировать органическое вещество в более доступные формы. Казалось бы, холодные суглинистые почвы обладают экстремальными условиями для обитания дождевых червей. Однако, при изучении почв криометаморфического отдела на глубине 80-90 см было зафиксировано гумусовое пятно в диаметре 10 см. Настоящее исследование посвящено изучению криогенных признаков в почвах криометаморфического отдела.

Исследуемый светлосём иллювиально-железистый в верхней части профиля, под лесной подстилкой, представлен мелкозёмом со слабоагрегированными округлыми формами, икряной структурой с мелкими агрегатами, до 40 см горизонты –E–BF пористые, поровые пространства связаны с насыщением горизонта водой в весенний период. Нижние горизонты CRM имеют угловато-крупитчатую структуру. Для горизонта характерна горизонтальная делимость структурных агрегатов и шлировость, связанная с мерзлотными физическими процессами. Фрагментарно фиксируются процессы партлювации – белёсые силтаны в виде светлой пыли, скопившейся в трещинках.

В.Д. Тонконогов угловато-крупитчатую или творожистую структуру, тусклой серобурой окраски объяснял временным надмерзлотным переувлажнением. А.А. Гербер, С.П. Кулижский, С.В. Лойко под «ооидами» в суглинистых почвах, относящиеся к зоне многолетне-мерзлых пород, понимают круглые агрегаты, по периметру покрытые кутаной из оптически ориентированной глины. Эти округлые структуры являются признаком криометаморфических почв, формирование которых происходит с участием мерзлотных процессов.

Механизм формирования данной почвы определяет гидротермический режим. Промерзание и кристаллизация воды в почве является определяющими элементарными процессами в формировании криометаморфического горизонта. Замерзание слабоминерализованных почвенных растворов в деятельном слое начинается при температуре 0°C, возникает «нулевая завеса», которая длится пять месяцев: с середины ноября по начало мая. В этот период происходят переходы температур через 0°C на глубине 20 см (горизонты АО–E–BF). «Нулевая завеса» на глубине 40 см (горизонт CRM) устанавливается в начале февраля и держится до начала апреля, достигая минимальных температур до –4°C. Сумма положительных температур 719°C, сумма отрицательных температур составляет –142°C. Для глубины 1 м сумма положительных температур составляет 504°C, сумма отрицательных температур –99°C. В верхних горизонтах –E–BF до глубины 20 см образуется инфильтрационный лёд, образующийся в результате свободной гравитационной воды и лёд-цемент, образующийся в порах между минеральными частицами; в срединных горизонтах CRM образуется сегрегационный или мигрирующий лёд, образующийся при замерзании воды, мигрирующей к фронту промерзания и сублимационный, образующийся в результате конденсации и кристаллизации, мигрирующих к фронту промерзания водяных паров. Для опровержения или подтверждения гипотезы, о том, что округлые агрегаты образуются в результате мерзлотных процессов или являются копролитами дождевых червей, проведен эксперимент. Два дождевых червя *Eisenia Nordenskioldi* были посажены в монолит криометаморфической почвы, с ненарушенной структурой. Монолит почвы упакован в пластиковую ёмкость и включал в себя лесную подстилку и минеральный горизонты. Дождевые черви жили внутри почвы 9 месяцев, производя свою жизнедеятельность. Затем, из монолита почвы, где жили черви, были сделаны шлифы, которые были изучены микроморфологическим методом на поляризационном микроскопе Nikon E 200-POL с цифровой камерой OLIMPUS 5Мп.

Фрагменты микростроения лесной подстилки экспериментального образца показали в строении округлые структуры – это копролиты. В шлифах фиксируется грубая органика мхов, которая плохо переработана дождевыми червями. Закрученные зоны ризоидов мхов и

губчатая зона мелко ассимилированной органики свидетельствует о перетаскивании червями органики. Ризоиды мхов собраны в округлые формы и сформированы внутри агрегата. Внутри округлых агрегатов видны остатки подстилки. Органический материал лесной подстилки плохо переработан. Материал перемешан с минеральными частицами, таким образом были образованы органо-минеральные копролиты. Микростроение минеральной части экспериментального образца показывает наличие копролитов с кольцевой оптически ориентированной глиной в биотубуле. В копрогенной зоне мелкопылеватые частицы агрегированы, зернистые структуры с рыжими зонами органики переработанной дождевыми червями. Закрытые губчатые поры. Растительные остатки сильно ассимилированы. Наличие большого количества фитоцитов. Органика разной степени разложения. Углистые частицы со слабой степенью разложения. Образец включает множество различных органических тканей и волокон разной степени разложения. Округлые агрегаты создают губчатую основу из слипшихся копролитов.

Сравнивая микростроение шлифов криометаморфических почв с экспериментальным образцом получили следующие выводы: 1) копролиты в биотубуле представлены минеральными агрегатами, имеют «ооидную» или округлую форму, с тенденцией формирования кутан; 2) минеральная зона состоит из слипшихся плотных агрегатов с очертанием округлых агрегатов; 3) в отличие от естественных почв, в экспериментальном образце нет признаков криометаморфизма, таких как тонко-плитчатая горизонтальная ориентация, параллельные горизонтальные поры.

УДК 551.89

КРИОГЕНЕЗ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (НА ПРИМЕРЕ Р. ЛЕНЫ)

Куть А.А., Спектор В.В.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия,

ann.urban@mail.ru

Долина реки Лены расположена целиком в пределах криолитозоны, поэтому можно предположить, что на формирование особенностей аллювия оказывает значительное влияние криогенез. Под ним в данной работе понимается преобразование исходного вещества осадков в результате воздействия многократных циклов промерзания и протаивания. Согласно современным представлениям, криогенез проявляется, в частности, в виде изменения гранулометрического состава исходных осадков (увеличивается содержание пылеватых фракций) и образовании специфического микрорельефа на поверхности частиц песчаной размерности. Признаки криогенного воздействия на минеральное зерно - трещины на поверхности, вскрытие внутренних полостей в зернах, имеющих сферическую и трубчатую форму и т.д. В целом частицы становятся более изометричными, многоугольными, с острыми краями. На криогенез указывает и наличие трещин на поверхности зерен, полостей в виде вакуолей (каверны).

На протяжении почти всей долины р. Лены под руслом существует сквозной талик, а сама река имеет глубину более 2 м, поэтому криогенному преобразованию могут подвергаться отложения только на мелководье, отмелях и островах. Целью настоящей работы было установление следов криогенеза в аллювиальных отложениях с помощью микроморфологического анализа кварцевых зерен размерностью 0,25-0,1 мм и сопоставление их с геологическим строением и возможными условиями осадконакопления. В качестве исходного материала послужил керн скважины, пройденной на I надпойменной террасе р. Лены в районе села Кильдямцы (22,5 км к ССВ от аэропорта г. Якутска). Мощность голоценовых аллювиальных отложений достигает 40 м, скважиной они были вскрыты до глубины 28 м.

Разрез аллювиальных отложений представлен преимущественно песками среднезернистыми, с прослоями супесей мощностью до 0,5 м, песков крупнозернистых и мелкозернистых. С глубины около 10 м присутствует гравий. Текстура отложений горизонтально- и косослоистая. До глубины 1,65 м супесь и песок сухие, морозные, ниже до глубины 2 м – талые (это подошва сезонно-талого слоя), ниже имеют массивную криогенную текстуру, т.е. содержат только поровый лед-цемент.

По характеру поверхности и формы зерен песчаной размерности в отложениях выделено четыре класса зерен, из них преобладают первый и второй. Первый класс – слабо окатанные изометричные зерна, с расчлененным рельефом и блестящей поверхностью. Содержание таких зерен в отложениях изменяется от 36% на глубине 1 метр до 56,7% на глубине 28 метров. Из первичных элементов на поверхности зерен были отмечены раковистые сколы и свежие поверхности расколов, линейные ступени и мелкоямчатый микрорельеф. Ребра и грани зерен осложнены следами абразии и V-образными микроуглублениями. Блоки расклинивания были отмечены на трети всех рассматриваемых зернах. Поверхность всех зерен покрыта прилипшими частицами предположительно кремнезема. Все вышеупомянутые диагностические элементы поверхности формируются на частицах в результате переноса в динамичном водном потоке во взвешенном состоянии.

Второй класс - угловатые зерна, не изометричные, характеризуются острыми ребрами и гранями. Поверхность осложнена свежими сколами различной формы и размеров, параллельной полосчатостью, микроступенями, присутствуют каверны сферической и трубчатой формы. На выступающих поверхностях отмечаются V-образные микроуглубления и мелкоямчатый микрорельеф. Содержание таких зерен изменяется от 58 % на глубине 1 м до 30 % на глубине 28 м, минимальное содержание отмечено на глубине 11,5 метров - 4,8 %.

В общем объеме зерен встречаются зерна других классов: матовые округлые зерна, характерные для эолового переноса, в значительном количестве диагностированы с глубины 10 метров (1,7-15,7%), идеально окатанные зерна с глянцевой поверхностью, прошедшие продолжительную обработку в водной среде (1,9-26,9%), зерна со следами химического выветривания (2,6-3,7%).

УДК 631.46

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ СУХОСТЕПНЫХ СОЛОНЦОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Лебедева М.П., Плотникова О.О., Романис Т.В., Лебедев М.А.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, m_verba@mail.ru

Эволюция почвенного покрова Прикаспийской низменности имеет длительную историю изучения. Выраженный микро, мезо и макрорельеф и пестрота почвообразующих пород низменности обусловили комплексность почвенного покрова. Почвенные комплексы межпадинных равнин представлены солонцами, светло-каштановыми (с разной степенью солонцеватости) и лугово-каштановыми почвами. Свойства почвообразующих пород северной части Прикаспийской низменности во многом определяются хвалынскими трансгрессиями и регрессиями Каспийского моря. Изучение геологических разрезов на многочисленных береговых обнажениях реки Волга позволило охарактеризовать динамику природной среды в плейстоцене. Эти результаты позволяют по-новому взглянуть на эволюцию почвенного покрова Волго-Уральского междуречья.

Для ряда почв опорных разрезов Нижнего Поволжья (Средняя Ахтуба, Райгород), подстилаемых мощной толщей датированных нижнехвалынских шоколадных глин (ШГ), определен возраст их контакта с перекрывающей толщей лессов. Так, для лессового слоя, перекрывающего толщу ШГ в обнажении Средняя Ахтуба на глубине всего 0,85 м определен возраст в 10 тыс. лет. Для ШГ в обнажении Райгород OSL-датирование показало разные даты: для подошвы ШГ 13000 ± 500 и для кровли – 15000 ± 1000 , которые свидетельствуют об

их накоплении в эпоху деградации осташковского оледенения на Русской равнине. В лессах, которые являются почвообразующей породой для современных почв разных по возрасту геоморфологических территорий, отмечены включения фрагментов хвалынских глин разной степени сохранности и большого числа зерен глауконита. Наличие специфических микроскопических признаков ШГ позволило выявить их включение в состав почвообразующего материала современных почв без близкого к поверхности их расположения. Наличие пластинок хвалынских глин в верхней части профилей позволяет предполагать, что источником этого лессового материала являются местные перевертаемые морские нижнехвалынские слоистые отложения. Наличие специфических по кристаллооптическим свойствам фрагментов хвалынских глин в лессах на разных по возрасту геоморфологических территориях Волго-Уральского междуречья позволяет их рассматривать как устойчивый признак (маркер) в диагностике относительного возраста и генезиса лессовидных суглинков Нижнего Поволжья.

Такие фрагменты хвалынских глин были диагностированы нами в разных типах почв Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН. Они были диагностированы в поверхностных горизонтах солоди в лимане и в почвах солонцовых комплексов на разных других территориях стационара. Их наличие в комплексе с другими признаками (наличие ооидных агрегатов, линз из мелкого песка, микрослоистость по гранулометрическому составу) позволяет говорить о локальной неоднородности почвообразующего материала и наличии реликтовых признаков педогенеза.

Как известно, почвы сухостепных солонцовых комплексов на территории Джаныбекского стационара имеют длительную историю изучения, начиная с 50-х гг. XX в. В шлифотеке Почвенного института им. В.В. Докучаева имеются шлифы этого периода. Зная точную привязку отдельных разрезов, нам удалось повторно их вскрыть в 2022 г. для изучения краткосрочной эволюции почв солонцового комплекса за период 1968-2022 гг. (54 года) на основе сравнения макро- и микроморфологических признаков, химических свойств почв и грунтовых вод.

Данные о климате были проанализированы для периода 1914-2021 гг. Поскольку, согласно Государственному докладу о климате, начало глобального изменения климата приурочено к 1975 году, было принято решение разделить период изучения на два подпериода: 1914-1975 и 1975-2021 гг. отмечено, что среднегодовая температура воздуха за период 1975-2021 гг. на $1,0^{\circ}\text{C}$ выше, чем за период 1914-1975 гг. В то же время среднегодовая влажность воздуха уменьшилась на 1%, несмотря на то, что количество осадков увеличилось на 18 мм. Среднегодовая температура, по-видимому, увеличилась за счет увеличения средней температуры холодного периода года на $1,5^{\circ}\text{C}$. Влажность холодного периода уменьшилась на 3,9%, а осадки на 11,9 мм. Увеличение же среднегодового количества осадков ($\Delta=18,3$ мм), очевидно, произошло за счет увеличения количества осадков теплого периода ($\Delta=39,5$ мм). Такие изменения климатического режима вызвали подъем уровня грунтовых вод на территории Джаныбекского стационара на 0,5-1 м, а их минерализация увеличилась в 2-17 раз.

Сравнение свойств и микростроения почв каштаново-солонцового комплекса на участках между 1-2 и 3-4 лентами Гослесополосы Чапаевск-Владимировка на Джаныбекском стационаре показало следующие закономерности: 1) увеличилась глубина проникновения корней растений, что выражается в обилии растительных остатков разной степени разложивности, которые встречаются даже на глубине 112-117 см в р.3-22 и р.4-22; 2) увеличилась глубина зоогенной переработки почвенного материала, выражающаяся в обилии экскрементов червей, энхитрид и коллембол даже на глубине 112-117 см во всех разрезах микрокатены; 3) уменьшилась глубина обнаружения карбонатных новообразований; 4) появилось высокое обилие железистых и железисто-марганцевых новообразований, в том числе нодулей с включениями и дендритов. Всё это свидетельствует об увеличении активности проработки почвенной толщи живыми компонентами биогеоценоза, усилении

процессов квазиоглеения и подтягивании карбонатного почвенного раствора ближе к дневной поверхности. Последнее приводит, с одной стороны, к некоторому рассолонцеванию, а с другой стороны, к усилению засоленности почвенного профиля.

В связи с выявленной высокой вариабельностью морфометрических параметров глинистых доменов в почвах солонцовых комплексов Джаныбекской равнины нами был выбран один почвенный профиль для оценки трендов изменения морфометрических параметров (МП) глинистых доменов, вызванного изменением климата. Объектом выбора стал профиль р.5, в котором была сопоставима глубина образцов (20-28 см в 1968 г. и 20-25 см в 2022 г.) на участке между 1 и 2 лентами Гослесополосы, поскольку по данным 1968 года в этом профиле представленность следов жизнедеятельности биоты была низкой, а проявление солонцового процесса весьма заметным как по данным макроописания и анализа обменных катионов, так и по данным микроморфологического исследования. В результате сегментации снимков шлифов и сравнения полученных данных было выявлено, что морфометрические параметры микрозон (площадь и форма) с высокой оптической ориентации глины в шлифе 2022 г. практически не изменились, но уменьшилась площадь кутан по сравнению со шлифом 1968 г. Это подтверждает выявленный при экспертном микроморфологическом описании и сопоставлении данных о химических свойствах почв тренд, указывающий на ослабление солонцового процесса в данном профиле в настоящее время в условиях зафиксированных изменений климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-74-20121 «"Временная капсула" библиотеки шлифов: динамика структуры, физических свойств и процессов в почвах России за последние 60 лет на основе стохастических реконструкций и машинного обучения по данным компьютерной томографии и малоуглового рассеяния»).

УДК 631.46

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ПРОТИВОЭРОЗИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В ЭРОЗИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Плотникова О.О.¹, Демидов В.В.², Макаров О.А.², Ярославов А.А.², Панова И.Г.²

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, mrs.plotnikova@mail.ru;

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Цель исследования состояла в оценке влияния различных доз опытных образцов полимерных почвенных мелиорантов (ППМ) – ГИПАН (гидролизированный полиакрилонитрил) и ГИПАН+ПДАДМАХ (смесь ГИПАН и полидиаллилдиметиламмоний хлорид) на повышение противозерозионной стойкости дерново-подзолистой почвы.

Объекты и методы. Для эрозионного эксперимента использовались смешанные образцы горизонта АУ дерново-подзолистой почвы, отобранные на территории Учебно-Опытного Почвенно-Экологического Центра МГУ имени М.В. Ломоносова «Чашниково» (Московская обл.). Оценка влияния ППМ на повышение сопротивляемости дерново-подзолистой почвы размывающему воздействию водных потоков проводилось в модельных экспериментах на среднем эрозионном гидрототке. Концентрация ППМ в водном растворе, которым обрабатывали почвенные образцы перед экспериментами, составляла 0,5; 0,7 и 1,0%. Контрольные образцы не обрабатывались ППМ. Определение интенсивности смыва почвы от скорости водного потока проводилось в диапазоне скоростей от 0,05 до 0,40 м/с. Для оценки влияния ППМ на противозерозионную стойкость дерново-подзолистой почвы микроморфологическим методом шлифы изготавливались из образцов: контрольного (неразмытого и размытого), обработанных ГИПАНом в дозе 0,5 и 1% (неразмытых и размытых), обработанных ГИПАН+ПДАДМАХом в дозе 0,5 и 1% (неразмытых и размытых); в общей сложности 10 шлифов. Под размытыми понимаются в данном случае образцы, в экспериментах с которыми размывающая скорость была равна 0,40 м/с. Все размытые

образцы перед изготовлением шлифов высушивались до воздушно-сухого состояния. Для изготовления шлифов из размытых образцов отбиралась средняя часть, подвергшаяся наиболее сильному воздействию модельного потока. Микроморфологическое описание шлифов проводилось с использованием поляризационного микроскопа Olympus VX51 с цифровой камерой Olympus DP26 (оборудование Центра коллективного пользования научным оборудованием «Функции и свойства почв и почвенного покрова» ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»).

Результаты.

Образцы, не размывавшиеся на лотке. В микростроении образцов, пропитанных ГИПАНОм в дозах 0,5 и 1% (1 и 3) заметно сильное сходство с контрольным, непропитанным образцом (К). Видно, что образец после обработки полимером сохраняет большую долю исходного порового пространства, структурные отдельные залегают преимущественно отдельно друг от друга. Причем эта тенденция сохраняется на всю глубину пропитки (2 см). В то же время в образцах, пропитанных ГИПАН+ПДАДМАХом в дозе 0,5 и 1% (4 и 6) на поверхности сформировался уплотненный слой со значительно меньшей долей пор, чем в образцах 1 и 3. Под поверхностью (1-2 см) доля пор несколько больше, чем в верхнем уплотненном микрослое (0-1 см), но все же меньше, чем на этой же глубине в образцах 1 и 3. Таким образом, ГИПАН+ПДАДМАХ формирует более плотную корочку на поверхности обрабатываемой почвы (рис. 1).

Образцы, размытые на лотке. Контрольный образец после размыва на лотке демонстрирует некоторое уплотнение изучаемого слоя (0-2 см), связанное с усадкой почвенной массы при ее промачивании потоком воды и последующем высыхании при отсутствии дополнительного разрыхления. В образцах 1 и 3 после размыва так же произошло уплотнение в изучаемой толще, но на глубине 1-2 см. У самой поверхности же (0-1 см) почва остается весьма рыхлой с крупными открытыми порами. В образцах 4 и 6, напротив, уплотнения не произошло. В образце 4 после размыва поровое пространство осталось без изменений. В образце 6 доля пор в изучаемом слое немного увеличилась, однако осталась очень низкой в сравнении с образцами 1 и 3 (рис. 1).

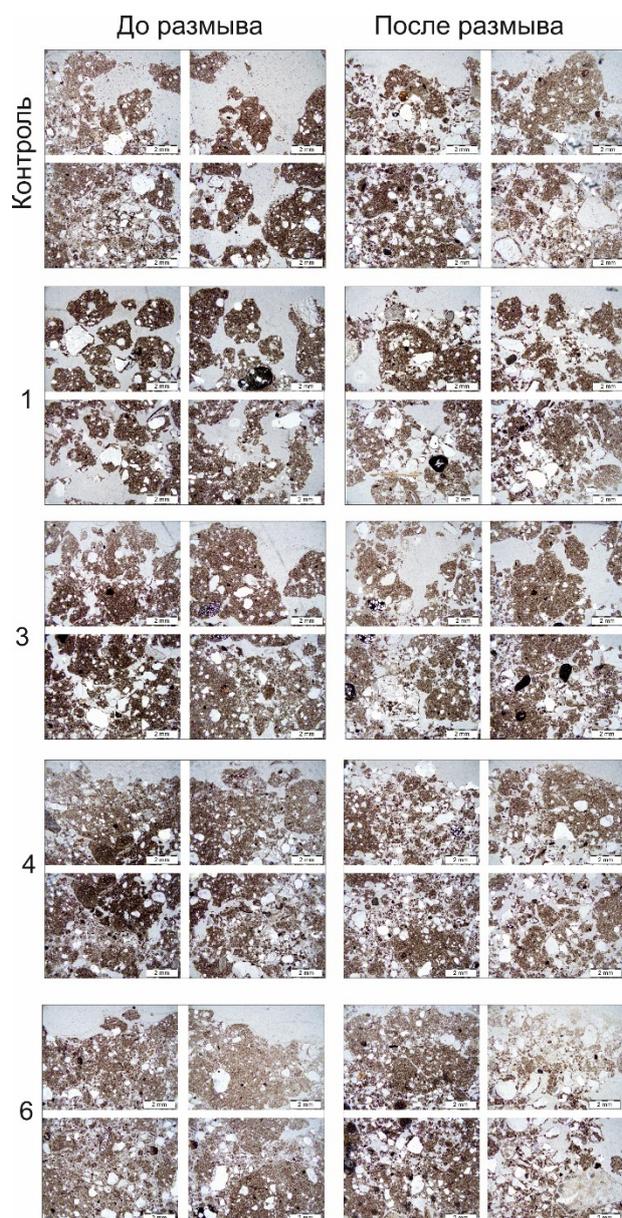


Рисунок 1. Микрофотографии верхнего 1 см шлифов из насыпных образцов горизонта АУ дерново-подзолистой почвы Московской области: контроль – образцы без обработки полимерными почвенными мелиорантами; 1 и 3 – образцы обработаны гидролизированным полиакрилонитрилом (ГИПАН) в дозах 0,5 и 1% соответственно; 4 и 6 – образцы обработаны смесью ГИПАНа и полидиаллилдиметиламмоний хлорида в дозах 0,5 и 1% соответственно. Примечание – «После размыва» означает, что шлифы изготовлены из образцов, прошедших лабораторный эксперимент на среднем эрозионном лотке при размывающей скорости потока 0,40 м/с.

Вывод. Можно заключить, что двухкомпонентный полимер ГИПАН+ПДАДМАХ даже в дозе 0,5% более эффективно препятствует отрыву почвенных частиц водным потоком, следовательно, более эффективен для повышения противозэрозионной устойчивости дерново-подзолистой почвы, чем ГИПАН (даже в дозе 1%).

Работа выполнена по договору № 075-15-2022-1212 «Разработка и применение инновационных почвенных мелиорантов для повышения продуктивности и предотвращения деградации аридных земель».

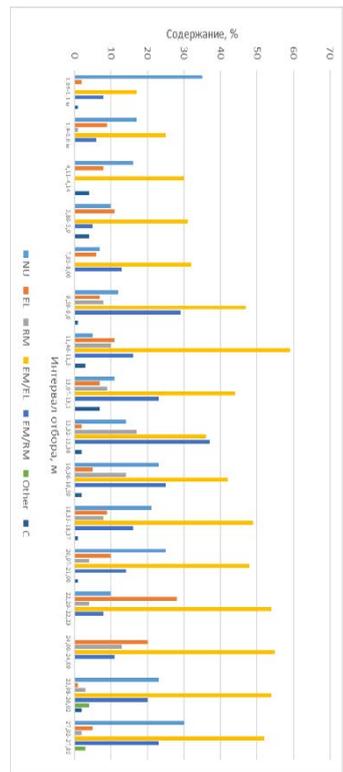
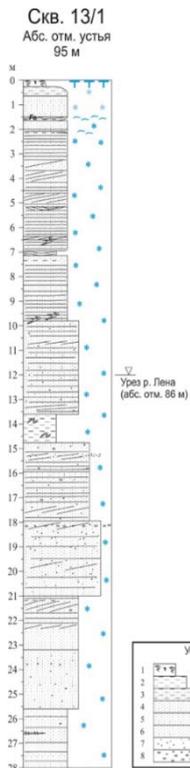


Рис. 1. Геологическая колонка по скважине (А); результаты морфоскопического анализа (Б). Условные обозначения (рис. 1А): 1 – почва; 2 – алеврит; 3 – песок пылеватый; 4 – песок мелкозернистый; 5 – песок среднезернистый; 6 – песок крупнозернистый; 7 – гравий мелкий; 8 – гравий средний; 9 – слоистость горизонтальная; 10 – слоистость волнистая; 11 – слоистость косая; 12 – линзы; 13 – деформации слоев; 14 – древесные макроостатки; 15 – растительный детрит; 16 – ожелезнение.; 17 – кровля мерзлых пород; 18 – морозные породы; 19 – массивная криогенная текстура; 20 – микрошлировая криотекстура.

Признаки криогенеза присутствуют вблизи поверхности на глубинах менее 1 м и в интервале глубин 26-28 м. Они представлены трещинами на поверхности зерен, полостями в виде вакуолей (каверны) сферической и трубчатой форм. Отдельные зерна расколоты. Форма таких частиц изометричная, многоугольная с острыми углами.

На основании результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. Отложения I н/п террасы р. Лены, вскрытые скважиной, представлены русловым аллювием, в основном стрежневой и прирусловой фациями. В их составе присутствуют частицы, имеющие следы эоловой обработки, что связано с их частичным переносом в пределах обнажавшихся отmelей.
2. Изменение соотношения классов зерен по разрезу связано со сменой обстановки осадконакопления. Увеличение матовых округлых зерен может указывать на изменение положения русла реки, обнажение намываемых отложений и принос частиц ветром. Увеличение доли угловатых обломков – изменение гидродинамического режима в сторону увеличения скорости потока и, как следствие, принос частиц, источником которых могли быть породы, подвергшиеся эрозионному размыву.
3. В основании разреза и в пределах современного сезонно-талого слоя (мощностью до 1 от поверхности) были отмечены следы, интерпретируемые как результат механического разрушения зерен в результате криогенеза.
4. Криогенез является постседиментационным процессом, действовавшим после завершения накопления отложений. Об этом говорит тот факт, что элементы, указывающие на механическое разрушение, встречаются на зернах различных классов: как на изометричных зернах с острыми гранями и ребрами, так и на зернах со сглаженными очертаниями, прошедшими обработку в водной и воздушной обстановках.

Морфоскопический анализ зерен проведен в рамках работ по гранту РФ №23-77-10046 «Роль криогенеза в формировании микроморфологических признаков почв и отложений», геологическое описание скважины и отбор образцов по базовому проекту № 122011800064-9 «Строение и ключевые этапы эволюции континентальной криолитозоны в неоплейстоцене и голоцене».

УДК 631.46

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИЗНАКОВ ОГЛЕЕНИЯ В ПОЧВАХ ЗАПАДИННОГО КОМПЛЕКСА ЛЕСОСТЕПИ (ТАМБОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Плотникова О.О.¹, Смирнова М.А.^{1,2}, Бардашов Д.С.^{1,2}

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, mrs.plotnikova@mail.ru;

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Почвы западин лесостепи являются важным компонентом почвенного покрова, выполняющим перевод поверхностного стока во внутрпочвенный и поддерживая тем самым уровень грунтовых вод территории. Ввиду своего формирования на недренированных слаборасчлененных территориях они зачастую длительно переувлажнены и имеют признаки оглеения.

Почвенные разрезы заложены в центре западины (р.С1) и на ее краю (р.С2) на территории крестьянско-фермерское хозяйство «Толмачев» (Тамбовская область, Токаревский район). Почва р.С1 диагностирована в поле как темногумусово-глеевая потечно-гумусовая элювирированная, формула профиля АН(0-32 см)–ЕLhi,g(32-39(42) см)–ВТg(39(42)-56... см). Вскипания в профиле не обнаружено, вода сочилась с 50 см. Почва р.С2 диагностирована в поле как чернозем квазиглеевый, формула профиля АU(0-20 см)–АUlc(20-53 см)–АUbsa(53-69(72) см)–ВСАq(69(72)-82(86) см)–ВСАQ(82(86)-105см)–Q(115-170... см). Вскипание наблюдалось с 20 см, морфологически выраженный карбонатных новообразований не наблюдалось, вода сочилась с 145 см. Отобраны микромонолиты и изготовлены почвенные шлифы в трехкратной повторности для каждого разреза. Микроморфологическое описание проводилось с использованием поляризационного микроскопа Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26 (оборудование Центра коллективного пользования научным оборудованием «Функции и свойства почв и почвенного покрова» ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»).

Микроморфологическое описание гор-та ЕLhi,g(32-39(42) см) р.С1, глубина отбора микромонолитов 32-37 см. Микроструктура массивная с большими трещинами, тонкодисперсное вещество (ТДВ) глинистое раздельно-мелко-чешуйчатое. Обилие глинистых кутан и глинисто-железистых гипокутан. Множество мелких глинистых струек во внутрпедной массе (ВПМ). Есть кутаны с органическим веществом. Обилие глинисто-органо-железистых нодулей с резкой границей и железистых нодулей с диффузной границей, некоторые железистые нодули имеют в составе немного марганца. Практически во всех нодулях видны включения зерен скелета. Размеры нодулей: глинисто-железистые – 50-800 мкм; железистые – 200-2000 мкм. В ВПМ есть скопления мелких углефицированных растительных остатков (у.р.о.).

Микроморфологическое описание гор-та ВТg(39(42)-56... см) р.С1, глубина отбора микромонолитов 43-48 см. Микроструктура округло- и – преимущественно – угловато-блоковая, обилие трещин. ТДВ глинистое раздельно-крупно-чешуйчатое и струйчатое. В ВПМ довольно много очень мелких углефицированных р.о.. Очень много железистых и глинисто-железистых кутан, много новообразований на промежуточной между кутаной и нодулем стадии. Много нодулей, железистых (преобладают) и глинисто-железистых. В основном нодули с включениями, единично встречаются концентрические и дендриты. Размеры нодулей от 100 до 1300 мкм. Р.о. в порах нет. Экскрементов нет. Вокруг Fe новообразований часты крупные зоны обеднения.

Микроморфологическое описание гор-та АUlc(20-53 см) р.С2, глубина отбора микромонолитов 32-37 см. Микроструктура комковато-копрогенная с ед. округлыми блоками. Поры упаковки сложные, биогенные каналы, трещины. Микросложение порфириновидное. ТДВ микрозонально глинисто-гумусовое с изотропной оптической ориентацией и глинисто-карбонатное с кристаллитовой оптической ориентацией. Кутан и

инфиллингов нет. Р.о. в порах до 10 шт. В ВПМ обилие очень мелких у.р.о. до 50 мкм. Единично Fe-Mn конкреция 740 мкм; в основном Fe, Fe-глин, Fe-Mn микронодули ок. 100 мкм более 20 шт на шлиф. Обилие карбонатных и карбонатно-железистых нодулей от микро (50 мкм) до крупных (1200 мкм), более 20 шт на шлиф. Есть Fe-органические кутаны тонкие и зоны обеднения (не приурочены к кутанам).

Микроморфологическое описание гор-та ВСАq(69(72)-82(86) см) р.С2, глубина отбора микромонолитов 72-77 см. Микроструктура комковатая, округло-блоковая, угловато-блоковая. Поровое пространство хорошо развито, в блоковых агрегатах обильны биогенные каналы. ТДВ и его оптическая ориентация микрозонально: 1) глинисто-гумусовый, изотропная; 2) карбонатно-глинистый, кристаллитовая (в карбонатных нодулях и стяжениях). Редко, но встречаются Fe-органические кутаны тонкие и зоны обеднения. Р.о. мало, в порах преимущественно сильно разложившиеся до 10 шт на шлиф, в ВПМ больше 10 шт на шлиф у.р.о. (до 250 мкм). Обильны CaCO₃-Fe нодули с колониями микроорганизмов 1200-1500 мкм и/или в Fe пленках, Fe, Fe-Mn и Fe-глин нодули, преим. с включениями и конкреции 50-300 мкм.

Микроморфологическое описание гор-та ВСАQ(82(86)-105см) р.С2, глубина отбора микромонолитов 92-97 см. Микроструктура массивная с обилием трещин и биогенных каналов. Единично встречаются угловато- и округло-блоковые отдельности. Микросложение во всех повторностях порфириновидное с упаковкой частиц от компактной до умеренно компактной. ТДВ карбонатно-глинистое с кристаллитовой оптической ориентацией. Кутан и инфиллингов нет. Р.о. в ВПМ редкие 50-250 мкм, в порах единичные. Только во второй повторности встречены единичные копролиты и экскременты коллембол. Во всех повторностях обильны Fe-Mn дендриты. Обильны Fe и Fe-Mn микронодули (100-200 мкм). CaCO₃ нодули размером 50-250 мкм. Во всех повторностях встречены мелкие глинистые ооиды в ВПМ (100-500 мкм).

В горизонте ELhi,g р.С1 преобладают интрузивные и пропиточные редоксиморфные новообразования, что свидетельствует о том, что этот горизонт находится в восстановительных условиях периоды длительностью приблизительно от нескольких дней до недели, что связано прежде всего с положением почвы в центре западины, где создаются условия для оглеения поверхностными водами.

В горизонте VTg р.С1 сочетаются пропиточные редоксиморфные новообразования и зоны обеднения, что говорит о длительности затопления этого горизонта до нескольких недель. Близкое стояние воды в профиле (50 см) указывает на то, что горизонт VTg испытывает как влияние поверхностного, так и грунтового оглеения.

В горизонте AUlc р.С2 присутствуют как железистые нодули, так и Fe-органические кутаны и зоны обеднения, что свидетельствует о том, что этот горизонт подвергается как коротким, так и длительным периодам переувлажнения. В горизонте ВСАq р.С2 сочетаются интрузивные, пропиточные редоксиморфные новообразования и зоны обеднения. Это является признаком сочетания как коротких, так и длительных периодов переувлажнения до нескольких недель. В горизонте ВСАQ р.С2 обильны интрузивные и пропиточные редоксиморфные новообразования и отсутствуют зоны обеднения. В сочетании с признаками оглеения, диагностированными в вышележащих горизонтах, и уровнем стояния воды в профиле (150 см) это указывает, что профиль р.С2 испытывает процессы поверхностного оглеения, причем, по-видимому, не на всю толщу профиля – количества осадков недостаточно для промачивания всего почвенного профиля, их смыкания с грунтовыми водами, как в почве днища западины. Полученные выводы об источниках почвенного переувлажнения подтверждаются автоматизированным мониторингом залегания грунтовых вод и влажности почв участка; таким образом, микроморфологическая характеристика является эффективным инструментом диагностики условий и продолжительности переувлажнения почв.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-77-10062 ««Гидрологическая и секвестрационная функции почв западного комплекса лесостепи»).

УДК 51.343

МИКРОМОРФОЛОГИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДИАГНОСТИКИ КРИОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Романис Т.В.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, romanis.tatyana@yandex.ru

Работы выполнены при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта №23-77-10046 «Роль криогенеза в формировании микроморфологических признаков почв и отложений».

С середины XX века шло активное накопление фактического материала о строении горизонтов почв в масштабе от десятков до тысяч микрометров. В 80-х годах были описаны основные отличительные признаки микростроения для большинства современных почв. Последующее бурное развитие микроморфологического метода в палеогеографии привело к экстраполяции полученных закономерностей для диагностики погребенных почвенных горизонтов. При этом типичные признаки криогенеза почв были определены исключительно с помощью сравнительно-географического метода, тогда как механизмы криогенного воздействия и их роль в формировании таких признаков не определена. Поэтому в настоящее время серьезной проблемой остается интерпретация условий почвообразования и в целом палеогеографических условий, основанная на использовании таких признаков.

Пониманию роли криогенеза, помимо сказанного, мешает принятое в почвоведении определение О.В. Макеева: «криогенные процессы представляют собой совокупность процессов физического, химического и биологического преобразования почвенной толщи, происходящих вследствие влияния отрицательных температур, т.е. при промерзании, пребывании в промерзшем состоянии и при их протаивании». Это определение стирает границу между педогенезом и криогенезом, ставя между ними знак равенства. Позднее О.В. Макеев уточнял, что указанному выше определению соответствует термин «почвенный криогенез», подчеркивая, что в криолитозоне для почвообразования криогенный фактор становится также важен, как биологический. При этом он соглашался с пониманием криогенеза как физико-геологического фактора согласно определению Н.Н. Романовского: «криогенез - комплекс процессов и явлений, происходящих в верхних горизонтах литосферы, как в сформировавшихся породах различного состава и возраста, так и в накапливающихся осадках, вызванных их промерзанием и протаиванием, охлаждением и нагреванием, изменением давления». Использование определения Н.Н. Романовского в почвоведении для диагностики микростроения криоземов позволяет определить криогенный процесс или их совокупность, ответственные за формирование диагностических элементов микростроения. Это необходимый фундамент для того, чтобы изменить ситуацию в диагностике криогенного воздействия как на современные, так и на погребенные почвы. Аналогичная ситуация с преобладанием сравнительно-географического подхода в диагностике элементов микростроения почв сложилась в мировой науке и связана с именами A.R. Mermut, R. Brewer, C. Tarnocai, B. Van Vliet-Lanoe, C.A. Fox. Наибольшее распространение получил подход к выделению признаков криогенного микростроения B. Van Vliet-Lanoe. Она обобщила данные предыдущих исследователей о криогенном воздействии на строение, провела работы по систематике и описанию криогенных текстур в почвах на мезо- и микроуровне во французских Альпах (1985) и на Шпицбергене, работала с палеопочвами в рамках гипотезы их криогенного генезиса, выдвинула гипотезу формирования ооидов при многократном повторении циклов промерзания-протаивания в результате растрескивания материала и последующего окатывания. B. Van Vliet-Lanoe не

ставила эксперименты, но детально наблюдала распределение льда в профилях (1991), привлекала к изучению криогенных образований в почвах мерзлотоведов. Квинтэссенцией ее идей об интерпретации признаков микростроения как криогенных стала глава о воздействии криогенеза на микростроение в фундаментальной монографии «Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths» (2010, 2019). При этом с 1985 по 2019 гг. В. Van Vliet-Lanoe почти в каждой публикации подчеркивала необходимость экспериментальной верификации описанных ею признаков микростроения как криогенных. Помимо отсутствия экспериментального подтверждения криогенного генезиса большинства из используемых в качестве криогенных диагностических признаков микростроения, необходимо помнить и о явлении изоморфизма. Об этом писала как Е.Б. Скворцова на примере порового пространства («Так, ажурный тип макропор, соответствующий округлым структурным отдельностям, может наблюдаться при биогенной переработке почвы, при криогенном икряном оструктурировании, при некоторых формах железистого оструктурирования»), так и В. Van Vliet-Lanoe («Из-за округлых поверхностей отдельных заполнителей гранулированную ткань, получаемую исключительно в результате криогенных процессов, иногда можно спутать с биологическим мульчированием (1984)»). Решением этой проблемы может выступать описание комплиментарных пар признаков для определённых условий промерзания. Очевидно, они будут меняться в зависимости от режима промерзания. Пока это было показано автором лишь на одном примере - на почвах гидротермальных зон Большеземельской тундры: чем меньше период пребывания почвы в мерзлом состоянии и больше циклов промерзания-протаивания, тем больше следов дробления кварц-полевошпатовых зерен песчаной размерности. При этом в почвах, пребывающих в мерзлом состоянии более полугодом и проходящих через меньшее количество циклов промерзания-протаивания, появляется кольцевая сортировка песчаных зерен и комковатая агрегация. В почвах и при краткосрочном, и при длительном промерзании криогенные признаки микростроения есть, но они свидетельствуют о разных температурных режимах почвенного профиля. Таким образом, с позиции концепции почвенной памяти, микроморфологический метод может давать прямую информацию о морфологическом и геометрическом характере почвенной структуры. Однако эти данные далеко не всегда позволяют сразу переходить к факторам и процессам её образования, особенно криогенезу.

Для перехода на следующий уровень – получения информации о процессах структурообразования и роли в нем криогенеза - необходимы не только использование формализованных морфологических показателей, но и понимание природы их формирования. На этот уровень в настоящее время мы поднимаемся лишь с такими признаками микростроения, как трещиноватые и выдавленные в поровое пространство зерна, микроагрегированность, пылеватые кутаны на верхних гранях структурных элементов. Другие же признаки – ооиды, кольцевая сортировка песчаных зерен, хоть и являются наиболее яркими и часто используемыми в диагностике криогенеза, объяснены лишь гипотетически. Мы можем лишь фиксировать эти элементы и, используя сравнительно-географический подход, строить гипотезы для погребенных почв, используя дополнительные субстантивные данные о почвах. Помимо того, что достоверно неизвестно, какая часть признаков микростроения связана именно с криогенезом, неизвестно и то, какие признаки сохраняются после протаивания и насколько они при этом преобразуются, а какие полностью исчезают и через какое время. На большинство из этих вопросов можно ответить, моделируя процессы промерзания в лабораторных условиях.

УДК 631.48, 631.422, 631.472

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПОЧВ ПОД РАЗНОВОЗРАСТНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ НА МЕЗО- И МИКРОУРОВНЕ (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Симонова Ю.В.¹, Русаков А.В.¹, Лебедева М.П.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, uvsim@yandex.ru

В работе исследовали мезо- и микростроение почв под залежами нечерноземной зоны на территории Пошехонского района Ярославской области. Устанавливались признаки изменений почв под влиянием распашки и их трансформации после снятия агрогенной нагрузки. Данные об изменениях почв под залежами южной тайги европейской части России приведены в многочисленных публикациях, однако их микростроение изучено гораздо меньше. Исследование почв на уровне мезо- и микроморфологии позволяет уточнить и дополнить элементы диагностики, получаемой при полевом описании.

Исторически сильно распаханная территория южной тайги забрасывалась постепенно, поэтому залежи имеют различный возраст, от 7 до 34 лет, и находятся на разных стадиях растительной сукцессии. Почвы водораздельных пространств района относятся к дерново-подзолистым, агроземам текстурно-дифференцированным и агроземам светлым. Полевые наблюдения показали, что почвы севера Ярославской области имеют потенциал для восстановления природных зональных процессов. Менее, чем через 10 лет после прекращения распашки в профиле обособился горизонт дернины. Во всей гумусовой части почв заметны следы высокой зоогенной активности. Отчетливо выражена вертикальная дифференциация бывшего пахотного горизонта с выделением подгоризонтов. Нижние горизонты пахотной толщи отличаются более светлой окраской, тенденцией к плитчатой или постшлировой структуре, появлением отбеленных зон, особенно по верхним граням педов. В микростроении верхней части гумусового горизонта (0–5 см) почв молодых (до 10 лет) залежей отмечена высокая степень агрегированности с большим количеством внутриагрегатных пор, пор-каналов, биогенных и межагрегатных пор, что говорит о хорошей организации порового пространства.

В большинстве изученных разрезов гумус представлен коричневатыми сгустковыми микроформами, а в распределении гумуса заметна микрозональность, которая усиливается с глубиной. В двух из десяти изученных разрезов в горизонте А_Ура (0–5 см) выявлены высокая гумусированность микромассы и большое количество копролитов в многочисленных биопорах, что обычно характерно для черноземного и лугово-черноземного типов почв. В этом поверхностном слое много растительных остатков разной степени разложенности, от свежих до значительно ассимилированных. Тем не менее даже свежие растительные остатки имеют следы выедания и перемятости почвенной фауной и окружены копролитами. Таким образом, слой (0–5 см) является максимумом гумусонакопления, а выявленные микропризнаки диагностируют развитие дернового процесса и структурообразования, типичного для луговой стадии зарастания.

Слои нижележащего горизонта Ppa2 (10–15 см) и (15–20 см) в пределах постагрогенной толщи отличаются более компактным сложением, плитчатой структурой, более низкой пористостью, неоднородностью микростроения. В этих горизонтах появляются отдельные микрозоны с повышенным содержанием глины, которые создаются за счет припашки нижележащих минеральных горизонтов. Часто в гумусовом горизонте встречаются микрозоны с хорошо ассимилированным материалом текстурного ВТ горизонта. В этом случае фрагменты припаханного минерального горизонта очень гомогенизированы, не образуют отдельных агрегатов и зон с резкими границами. В других случаях, наоборот, припаханный материал имел резкие границы с вмещающей массой. Степень гомогенизованности материала текстурного горизонта в пахотной толще является одним из качественных диагностических признаков скорости их постагрогенной трансформации, которая диагностируется только на микроуровне.

Вертикальная морфологическая дифференциация постагрогенного горизонта подтверждается аналитическими данными. Содержание гумуса в верхних 5–10 см практически всегда выше, чем в слое (10–20 см) и глубже по крайней мере в 1.5 раза, а плотность сложения, наоборот, в 1.3–1.4 раза ниже. Убывающее профильное распределение гумуса и нарастание плотности

сложения с глубиной является свидетельством современного гумусонакопления и развития восстановительных процессов в залежных почвах.

В нижней части ранее пахотного горизонта большинства залежей на всех уровнях морфологического строения появились признаки оглеения, связанные со сменой окислительно-восстановительного режима, что указывает на ухудшение внутривертикального дренирования почв водораздельных пространств. На микроуровне в горизонтах Ppa2 и Ppa3 заметно как обилие различных Fe новообразований, так и наличие микрозон с неоднородными по составу Fe новообразованиями, свидетельствующими об активном глеевом процессе. Повышение содержания глинистого материала за счет запашки нижележащего минерального материала усиливает проявление оглеения в гумусовых горизонтах, поскольку Fe стяжения «тяготеют» к глинистому материалу.

В разрезе под более старой (20 лет) залежью признаки застоя влаги и плотное сложение отмечены уже в самом верхнем слое гумусового горизонта (0–10 см), что диагностируется именно на микроуровне. О протекании активного процесса оглеения говорят неоднородности по гумусированности почвенной массы, формирование бурых гумусовых сгустков, обилие Fe-Mn нодулей, стяжений, конкреций и обезжелезненных зон. Кольцевая сепарация песчаных зерен указывает на промерзание почв во влажном состоянии. В этой почве признаки оглеения встречались во всем профиле, но наиболее интенсивно в его нижней части. На микроуровне на глубине (90–95 см) хорошо видны результаты активного глеевого процесса, выраженные в контрастном микростроении: обезжелезнение по ходам корней, наличие струйчатой оптически ориентированной глины (ООГ) в обезжелезненной зоне, контрастность слоев по содержанию железу.

Характер ООГ (струйчатость) во многих изученных почвах говорит о том, что развитие почв происходит на фоне переувлажнения. Современные тонкие кутаны в срединных минеральных горизонтах (BEL, BT) в отличие от древних реликтовых, часто встречающихся здесь, в основном связаны с внутривертикальным оглеением, тогда как межгоризонтное перемещение глины по порам не существенно.

При изучении почв под залежами на покровных суглинках или при подстилении карбонатной мореной отмечены изменения в нижней карбонатной части профиля. На макро- и мезоуровне обломки карбонатных пород морены демонстрируют разную степень выветрелости, в результате чего были отмечены обломки породы разной плотности – от рыхлых до очень плотных. В почвах на покровных суглинках, где литогенные карбонаты представлены журавчиками, появляются карбонатные прожилки и мелкие карбонатные пятна. На микроуровне в горизонтах, переходных к породе и в самой породе, наряду с остаточными древними глинистыми кутанами на карбонатном фоне заметны Fe новообразования в виде разводов и рыхлых стяжений. Из актуальных признаков присутствуют карбонатные кутаны, образующиеся за счет подтягивания растворов. Помимо обломков пород в морене наблюдается частичная перекристаллизация первичного кальцита, образование многочисленных мелких и Fe-Mn и карбонатных новообразований (например, нодулей), микритовая пропитка глинистой массы.

Таким образом, изменения, затрагивающие пахотную толщу, находятся в тесной связи с переходом почв в залежное состояние и зависят от возраста залежи и стадии растительной сукцессии. Наряду с развитием признаков, типичных для зарастания пашни, современные почвы имеют признаки, свидетельствующие о застое влаги, что особенно заметно на суглинистых породах. В профилях таких почв фиксируется рост признаков оглеения – числа различных по размеру Fe-Mn новообразований, размеров зон обезжелезнения, изменение состояния карбонатных пород из морены.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-29-05243.

УДК 631.4

ОСОБЕННОСТИ МАКРО-, МЕЗО- И МИКРОСТРОЕНИЯ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ
УЛЮНХАНСКОЙ ВПАДИНЫ (СЕВЕР БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ, БУРЯТИЯ)
Убугунов В.Л.¹, Лебедева М.П.², Варламов Е.Б.²

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail:
ubugunovv@mail.ru;

²ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: m_verba@mail.ru

В Улюнханской впадине, расположенной на северо-западе Баргузинской котловины (Бурятия), были обнаружены бугры пучения, развитие которых обусловлено выходами минеральных источников (Кучигерские гидротермы), а также скрытых (субфлювиальных и субаквальных) разгрузок газогидротермальных флюидов на прилегающих территориях. Последние вызывают избыточное обводнение, засоление и пучение поверхности вплоть до развития крупных гидролакколитов. В результате промерзания бугры подвергаются интенсивным криотурбациям. Гидролакколиты, обнаруженные южнее и юго-восточнее Кучигерских источников, образуют точечные и сложно-составные поднятия на озерно-аллювиальной равнине Объектом и исследования явился один из недавно образованных бугров пучения (разрез ВЛК-15 -N54,86929, E110,98677).

Цель исследований – изучение макро-, мезо- и микростроения гидролакколита ВЛК-15 как результата влияния эндогенного фактора на почвенный покров в холодных областях тектонически активных зон континентального рифтогенеза.

Бугор ВЛК-15 представляет собой куполообразное криогенное поднятие линзовидной формы с относительной высотой около 2,5 м, лишенное растительности и подвергающееся активному плоскостному смыву материала с поверхности. На единичных останцовых кочках на поверхности бугра высотой 20-30 см отмечали остатки дернины. Ледяное ядро, располагалось на глубине 120-130 см. Профиль по морфологическим свойствам делился на три основные части. Верхняя часть (0-50 см) сильнотрещиноватая, буроватая с крупными диффузно осветленными пятнами, охристыми прожилками по ходам тонких корней, железистыми пленками и пропитками по краям трещин. Глубже (50-72 см) следовала серия из 5 хорошо дифференцированных слоев небольшой мощности, контрастно различающихся по окраске, наличию включений органического вещества, структуре. Ниже (72-123 см) залегала неоднородная, пестрая по цвету толща, состоящая из смеси неупорядоченно расположенных морфонов, размерностью от 1 до 10 см, являющихся результатом засыпки по трещинам комковатых агрегатов из верхних слоев и дальнейшим их турбационным дроблением и смешиванием с субстратом вмещающего слоя.

Физико-химические свойства материала, слагающего ВЛК-15, характеризовались рядом существенных особенностей: 1) сильно кислой реакцией среды, сочетающейся с большим количеством легкорастворимых солей (табл.); 2) очень низкой плотностью сложения (0,27-0,45 г/см³) при тяжелом (от среднесуглинистого до легкоглинистого) гранулометрическом составе; 3) геохимическими аномалиями по содержанию S, W и Mo.

Микроморфологический анализ профиля ВЛК-15 показал, что данный бугор является педоседиментом, в котором на фоне разного по составу и микросложению пылевато-глинистого материала, выявлены признаки почвообразования, которые увеличиваются с глубиной. Предполагаем, что на глубине 52-62 см наблюдается погребенный гумусовый горизонт с хорошо развитой структурой, в том числе копрогенной, и гумусовой пропиткой почвенной микромассы. Здесь отмечено самое большое количество растительных остатков, находящихся на разной стадии разложения, в том числе углистых. Материал разреза в целом характеризуется наличием большого количества включений из мелких углистых остатков и биолитов (диатомовых водорослей), что свидетельствует о преимущественно гидрогенном развитии профиля в условиях озерно-болотного режима с периодическими этапами аэрации и педогенеза во время снижения грунтовых вод. Наличие крупных углистых растительных остатков на глубине 78-88 см позволяет предполагать, что в короткие периоды осушения

растительный материал на данной территории подвергался горению. В верхней толще мощностью 0-72 см отмечены мелкие сростки гипсовых кристаллов преимущественно во внутрипедной массе, иногда в межагрегатных порах, что позволяет связать их генезис с подтягиванием солевых растворов по капиллярам к поверхности и кристаллизацией при иссушении.

Таблица. Некоторые свойства и результаты анализа водной вытяжки разреза ВЛК-15

Слой или горизонт	Глубина, см	рН	ППП, %	Сумма солей	Сумма токс. солей	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ общ.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
				%									
X1	0-5	3,8	20	1,16	0,19	0	0,28	0,08	16,70	14,20	1,00	1,86	0
	20-30	3,5	23	1,16	0,17		0,36	0,20	16,42	14,50	0,20	2,28	
	37-47	3,4	25	1,12	0,16		0,20	0,28	16,01	14,00	1,20	1,29	
X2	52-62	3,4	27	1,12	0,14		0,28	0,48	15,87	14,40	1,40	0,83	
X3	61-66	3,1	25	0,96	0,22		0,20	0,48	13,76	10,80	2,70	0,94	
X4	66-68	3,1	22	1,11	0,21		0,20	0,56	15,96	13,20	3,00	0,52	
X5	68-70	3,2	19	1,12	0,22		0,36	0,48	15,96	13,10	3,30	0,4	
X6	70-72	3,3	14	1,11	0,17		0,32	0,32	15,90	13,70	2,30	0,54	
X7	78-88	3,7	14	1,01	0,10		0,32	0,16	14,50	13,40	1,10	0,48	
	92-102	4,4	11	0,83	0,12		0,20	0,16	12,00	10,50	1,40	0,46	
	110-120	6,5	9	0,36	0,03	0,20	0,40	4,80	4,80	0,50	0,1		

Это хорошо согласуется с данными водной вытяжки (табл.), расчетным присутствием гипса и наличием сезонной динамики по увлажнению и иссушению климата. Для профиля характерно наличие тонко-пылевато-гумусовых инфиллингов в межагрегатных порах до глубины 88 см, которые свидетельствуют о периодическом элювиально-иллювиальном перераспределении гумуса. Предполагаем, что возможность миграции тонкодисперсного органического вещества может быть связана с наличием трещин растяжения, а также с высокой кислотностью растворов, возникающей при разложении ярозита, который определен рентгендифрактометрическим методом. Особенностью самого нижнего слоя (118-128 см) является появление песка, состоящего из обломков кварца и кислых плагиоклазов. С высокой степенью вероятностью криогенное и химическое выветривание обломочного материала пород, преимущественно гранитоидов, можно связать с большим количеством серицитизированных плагиоклазов и мелких тонко-призматических кристаллов альбита и олигоклаза, амфиболов, слюд биотит-флогопитового ряда в составе мелкого песка. Микропризнаки современной плитчатой криогенной агрегации отмечены в самых верхних слоях, при этом их выраженность не зависит от содержания и степени разложенности растительных остатков. Высокая перемешанность фрагментов и агрегатов с разным

гранулометрическим составом и наличие гумусированного материала в межагрегатных трещинах позволяет предполагать активные процессы криотурбации. Микроплитчатость в нижней части разреза, особенно на глубине 92-102 см, как мы предполагаем, связана с особенностями седиментации самого осадка. Таким образом, изученный гидролакколит представляет собой сложное полигенетичное образование, формирование которого связано как с периодическим поступлением разного по составу и происхождению органического и минерального материала, так и с синлитогенным педогенезом. Активный эндогенный фактор, ведущий к образованию специфических поднятий, создает экстремальные условия педогенеза и существенно усложняет неоднородность почвенного покрова холодных областей тектонически активных зон Байкальского рифта.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта Института общей и экспериментальной биологии СО РАН FWSM-2021-0004 №121030100228-4.

УДК 631.46

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРОЕНИЯ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ КУЧИГЕРСКОГО ТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ Ямнова И.А.¹, Лебедева М.П.¹, Черноусенко Г.И.¹, Хитров Н.Б.¹, Убугунов В.Л.², Убугунова В.И.²

¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, irinayamnova@mail.ru;

² Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, ubugunova57@mail.ru

Исследовались уникальные почвы северной части Баргузинской котловины Забайкалья в зоне влияния тектонических разломов периферийной части зоны Кучигерских гидротерм. Термальные источники имеют сульфатно-гидрокарбонатный натриевый состав, с повышенным содержанием сероводорода - до 29 мг/л, кремнекислоты (70-85 мг/л), фтора (10-18 мг/л), рН 7.2-8.2. Температура воды в термах колеблется от 21°C до 75°C, минерализация 0.4-0.5 г/л.

Морфологическое и микроморфологическое описание, а также анализ минералогического состава гидротермальнопреобразованного профиля почвы в целом позволяет констатировать следующее. Преобладание песчаной фракции по всему профилю позволяет предположить изначальный его состав как песчаный, позже на него наложились процессы гидротермального воздействия в результате тектонических процессов, а также накопление органического вещества в условиях избыточной влажности (образование болотного массива). Все это привело к формированию почвоподобного образования с нарушенным строением почвенного профиля – горизонтов (морфонов), неоднородных по строению и составу и чередующихся как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Характерной особенностью является наличие черных вазелиноподобных, затвердевающих при высыхании слоев (импрегнированных - IMP), пятен, морфонов.

Гидротермальное воздействие привело к метаморфизации полевых шпатов, серицитизированию плагиоклазов, пелитизированию калиевых полевых шпатов, содержание которых возрастает профиля, также внизу в глеевом горизонте большая доля гидрослюды, что свидетельствует о значительной метаморфизации полевых шпатов; криоаридный климат с продолжительным периодом промораживания профиля приводит к физическому растрескиванию минералов, что подтверждается угловато-оскольчатой формой минеральных зерен, сепарацией по гранулометрическому составу в пределах нескольких миллиметров, инфиллингу пылеватых мелких зерен плагиоклаза и органического вещества. Нахождение профиля среди болотного массива предопределило значительное содержание органического вещества по всему профилю, при этом органическое вещество под воздействием поднимающихся гидротерм метаморфизировано и представляет собой микросгустки (агрегаты) - цепочки от 50 до 300-500 микрон черного и бурого цвета; эта форма является преобладающей в импрегнированных морфонах.

Органика отличается большим разнообразием форм и характером распределения как внутри горизонтов, так и по профилю. Органическое вещество представлено следующими формами: 1) остатками корней (свежими, неразложившимися бурого цвета и черными - углистыми); 2) агрегатами черного цвета, организованными в виде: а) микрозернистого вещества - единичного и в виде микросгустков, распределенных как неупорядоченно, так и в виде цепочек и субпараллельных слоев - органических прослоев, перемежающихся с тонкопылеватой фракцией. Микросгустки в ряде горизонтов представлены хлопьевидными агрегатами; б) вокругскелетных пленок (изотропных); 3) органо-минеральными крупными черными агрегатами – с песчаными зёрнами, растрескавшимися на остроугольные фрагменты, а также бурыми глинисто-органическими сложными агрегатами. Обилие той или иной формы органического вещества различается по профилю. Так, слоистое распределение органики в виде субпараллельных слоев наиболее выражено в нижних горизонтах. Сложные черные органо-минеральные и бурые глинисто-органические агрегаты присутствуют лишь в одном горизонте на глубине 90-95 см, тогда как хлопьевидно-сгустковые формы отмечены почти по всему профилю.

Минеральная составляющая профиля представлена зёрнами минералов песчано-пылеватого размера исключительно остроугольной (обломочной) формы, с признаками механического растрескивания и со следами химического выветривания - псевдоморфозами разного состава. Остроугольная форма крупнозема не позволяет предполагать аллювиальный генезис данных почвообразующих пород.

В составе скелетных зёрен преобладают минералы группы полевых шпатов - преимущественно плагиоклазов кислого состава (натриевые альбит-олигоклазы) с признаками развитой в различной степени серицитизации (замещение светлой слюдой серицитом). Встречаются плагиоклазы с зональным строением, в которых центральные зоны пелитизированы, а краевые части более кислого состава пока еще не изменены.

Обломки пород песчаной размерности представлены породами гранитоидного типа, в составе которого отмечены калиевые полевые шпаты, амфиболы актинолит-тремолитового ряда, слюды биотит-флогопитового ряда, отдельные хлоритизированные зёрна минералов и крупнопылеватые минералы группы эпидот-цоизитов. По соотношению минералов разной формы в составе тонкодисперсных частиц можно отметить расщепление минералов группы полевых шпатов, особенно плагиоклазов по трещинам спайности, что определяет игольчатую форму пылеватых частиц.

Соотношение частиц разной размерности в разных горизонтах имеют разную форму проявления. Встречаются внедрения - плотные инфилинги мелкопесчаной размерности и слоистые, иногда волнообразные прослойки (интеркаляции), иногда обтекающего вида - вокруг крупнопесчаных частиц или заполняющие межскелетные поры. Преобладание в скелетной части выветрелых плагиоклазов свидетельствует об источнике кальция и натрия в почве.

Гидротермальное происхождение профиля подтверждает и минералогический состав солевых корок на поверхности почвы. В солевой корке, кроме воднорастворимых солей, среди которых преобладают сульфаты (тенардит - Na_2SO_4 , блёдит - $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (син.: астраханит), гипс - $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) и крайне мало галита - NaCl , присутствуют альбит - $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – алюмосиликат Na из группы полевых шпатов, метасоматический минерал актинолит $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ из группы амфиболов, встречающийся в гидротермальноизмененных породах, а также гидрослюды: шабазит - $(\text{Ca}, \text{Na}_2)[\text{AlSi}_2\text{O}_6]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (силиката группы цеолитов), флогопит - $\text{KMg}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}] \cdot [\text{F}, \text{OH}]$, иллит - $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})(\text{Al Mg Fe})_2(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, являющиеся существенным компонентом метаморфических пород – сланцев, гидротермальных жил и импактитов. Таким образом, минералогический состав солевой корки коррелирует с минералами, определяемыми и микроморфологически - наличием гидрослюд, полевых шпатов, амфиболов. Наличие

альбита и шабазита также свидетельствует об одном из источников натрия в засолении этих почв.

Была уточнена природа минералогического состава импрегнированных морфонов в профиле почвоподобных тел. Установлено преобладание полевых шпатов и плагиоклазов над другими минералами, а также присутствие кварца и амфиболов, встречаются кальцит, гипс, следы пирита. Наличие троилита FeS в качестве окрашивающих в черный цвет минералов рентгендифрактометрическим методом не подтвердилось. Высокие значения потери при прокаливании (ППП – 5-13%) позволяют предположить возможную органическую природу импрегнированных морфонов.

(М) ПОДКОМИССИЯ. КРАСНАЯ КНИГА И ОСОБАЯ ОХРАНА ПОЧВ

УДК 502.172:502.211:502.521(470.13)

ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КРАСНОЙ КНИГИ И ОХРАНА ПОЧВ
РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Денева С.В., Лаптева Е.М., Дегтева С.В.

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail denewa@rambler.ru

Обычно «Красная книга» ассоциируются с редкими видами растений и животных, требующих особых мер охраны. Однако их сохранение невозможно без сохранения почв и почвенного покрова.

Значимость почв как уникального природного ресурса Земли в жизни человека и устойчивом функционировании биосферы в полной мере была осознана только к концу XX века, когда были определены и сформулированы основные биосферные функции почв и невосполнимость почвенного покрова как природного ресурса.

Темпы деградации почв во второй половине XX века достигли таких масштабов, что современный кризис почвенных ресурсов принял глобальный характер (тихий кризис планеты). Из года в год неуклонно сокращается резерв пахотно-пригодных земель в мире. Достаточно катастрофичная ситуация с почвенным покровом сложилась и в России.

Интенсивно развиваются эрозия, дефляция, заболачивание, засоление, опустынивание, подтопление, зарастание сельскохозяйственных угодий кустарником и мелколесьем, другие процессы, ведущие к потере плодородия сельскохозяйственных угодий и выводу их из хозяйственного оборота. Все это остро поставило вопрос о необходимости охраны почв, сохранения не просто почвенного разнообразия, но и ландшафтов и в целом биосферы. На сегодняшний день уже изданы Красные книги почв отдельных субъектов РФ.

Анализ имеющихся на данный момент опубликованных Красных книг почв свидетельствует о включении в них разных категорий почв.

Республика Коми (РК) в плане работы подготовки Красной книги почв существенно отстает от других регионов, что может быть связано с незначительной земледельческой освоенностью ее территории. Земельные ресурсы республики имеют, главным образом, лесохозяйственное значение.

Несмотря на достаточно активную лесозаготовительную деятельность на территории республики, основная часть ее почвенного покрова сохранена в естественном состоянии, т.е. находится под лесными массивами с ненарушенным напочвенным покровом.

В то же время активное промышленное освоение территории, связанное с реализацией таких крупномасштабных мероприятий как разработка рудных и нерудных полезных ископаемых (нефть, газ, уголь), их транспортировка и переработка, сопровождаются нарушениями и загрязнениями почвенно-растительного покрова, а также нарушением режимов их функционирования. Причем ежегодно площадь нарушенных территорий возрастает.

Естественно, что за более чем полувековой период исследования почвы Республики Коми были достаточно хорошо изучены:

выявлены зональные закономерности почвенного покрова,

изучены свойства и режимы основных типов почв,

составлены почвенные карты миллионного масштаба,

охарактеризован почвенный состав земельных ресурсов.

Весь этот материал позволяет дать детальную характеристику эталонных почв, которая уже представлена в опубликованном атласе почв республики Коми.

Большая роль при подготовке Красной книги почв отводится особо охраняемым территориям, где почвы уже находятся в зоне охраны. В последние годы работы по инвентаризации ООПТ позволили оценить разнообразие почв памятников природы, заказников, Печоро-Илычского заповедника, национального парка Югыд ва. Материалы

обобщены и опубликованы в монографиях. На территориях ООПТ выявлены новые типы почв.

На основе полученных новых данных о почвах Республики Коми выделен ряд почв, которые требуют режима особой охраны. Сюда, в первую очередь, необходимо отнести так называемые редкие почвы, занимающие менее 1 % от площади республики.

Это ржавоземы грубогумусированные, формирующиеся на элюво-делювии долеритов и базальтов в пределах среднего Тимана. Редкие, имеющие небольшой ареал распространения почвы, которые в ближайшее время из-за дальнейшей разработки месторождений и добычи бокситов могут перейти в категорию исчезающих почв.

Тундровые перегнойно-карбонатные почвы, составляющие основу почвенного покрова дриадовых тундр на конечной карбонатной морене. Эти почвы, с одной стороны, недостаточно изучены, а с другой, в связи с прокладкой трассы нефтепровода Бованенково-Ухта, попадают в сферу антропогенного воздействия, которое может привести к их деградации.

Уникальные, редкие почвы рендзин приурочены к выходам известняков. Поскольку они находятся в пределах заказников, эти почвы уже находятся в статусе особо охраняемых и в настоящее время непосредственной угрозы для них нет. Однако они требуют особого внимания, поскольку при определенных условиях вполне могут быть подвержены антропогенному воздействию.

К этой же категории относятся уникальные, не типичные для таежной зоны почвы карстовых суходольных лугов.

В горных ландшафтах к потенциально уязвимым, несмотря на выделение их на территории заказников, следует отнести буроземы со специфическим профилем, в строении которого выражен гумусированный темно-серый горизонт, а также дерново-литоземы перегнойно-гумусовые.

В качестве редких, легкоранимых почв следует выделить почвы, формирующиеся на песчаных отложениях, голоценовая история развития которых запечатлена в двухъярусности профиля. Согласно исследованиям, в отложениях верхнего яруса сформированы подбуры со слабодифференцированным профилем. Погребенные под ними дерново-подзолы имеют четко дифференцированный профиль, сформированный в результате интенсивного развития подзолистого, Al-Fe-гумусового и гумусо-аккумулятивного процессов. Вследствие того, что двухъярусные почвы формируются при необычном сочетании факторов педогенеза, в разные периоды голоцена (под лесной и тундровой растительностью), их изучение проливает свет на историю развития ландшафтов Большеземельской тундры.

Особо следует выделить недостаточно изученные аллювиальные почвы, занимающие хорошо дренированные участки первой надпойменной террасы в долинах крупных рек.

Уникальность этих почв, имеющих незначительные ареалы распространения, проявляется в отсутствии морфологических и физико-химических признаков оподзоливания в профиле, несмотря на то, что они формируются под пологом ельников зеленомошных. И почвы, формирующиеся на объектах геологического наследия.

Красная книга почв, получив свой статус, реально послужит сохранению редких почв Республики Коми.

Перспективы: продолжение проведения детального почвенного обследования существующих ООПТ РК и памятников геологического наследия; выбор эталонных и редких почв; составление кадастра особо ценных почв Республики Коми; подготовка Красной книги почв Республики Коми.

УДК 631.4

ПО СТРАНИЦАМ КРАСНОЙ КНИГИ ПОЧВ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Еремченко О.З., Шестаков И.Е.

Постановлением Правительства Пермского края от 27 мая 2022 г. п 447-п утвержден порядок и меры охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения почв, занесенных в Красную книгу почв Пермского края, перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения почв, занесенных в Красную книгу почв Пермского края. Охрана почв осуществляется в целях сохранения почвенного разнообразия и плодородия почв.

Основными задачами осуществления охраны почв в Пермском крае являются:

сохранение почв и ценных почвенных объектов и их плодородия;

предотвращение загрязнения, захламления почв, других негативных (вредных) воздействий на почвы;

своевременное выявление негативных изменений состояния почв, полнота и достоверность информации о состоянии почв;

устранение последствий негативных (вредных) воздействий на почвы и восстановление почв;

контроль выполнения мероприятий по охране почв.

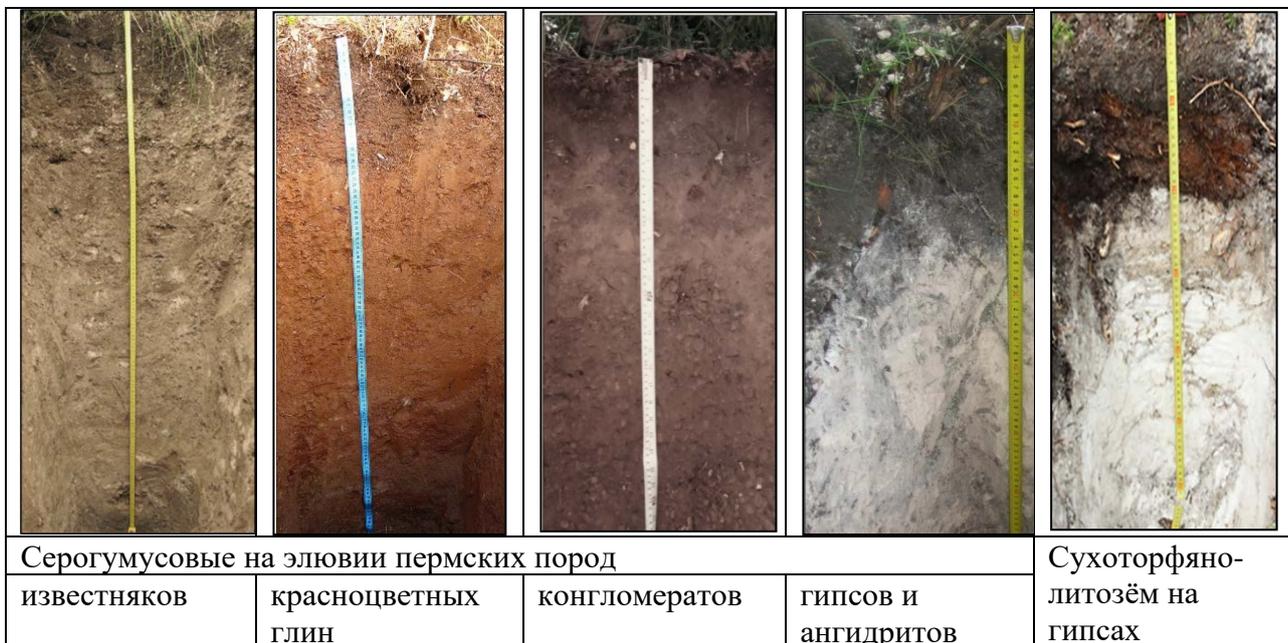
В Постановлении утверждены две категории почв, подлежащие особой охране. Редкие почвы – почвы, сформировавшиеся в уникальных природно-климатических условиях и имеющие особое природоохранное, научное и иное ценное значение. Находящиеся под угрозой исчезновения почвы (далее - исчезающие почвы), – почвы, необратимо утрачивающие свои свойства или исчезающие как естественные природные объекты.

Редкие и исчезающие почвы, занесенные в Красную книгу почв Пермского края и расположенные в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) регионального значения, находятся под особой охраной. Для охраны редких и исчезающих почв создаются ценные почвенные объекты (ЦПО) – территории, в границах которой находятся ареалы редких или исчезающих почв, занесенных в Красную книгу почв Пермского края. Для охраны редких и исчезающих почв, расположенных в границах ООПТ, устанавливается особый правовой режим, определяемый режимом особой охраны ООПТ.

Изъятие земель, на которых расположены редкие и исчезающие почвы, занесенные в Красную книгу почв Пермского края, расположенные в границах ООПТ, запрещается, за исключением случаев, предусмотренных федеральным законодательством. Земельные участки, в границах которых расположены редкие и исчезающие почвы, занесенные в Красную книгу почв Пермского края и расположенные в границах особо охраняемых природных территорий, не подлежат приватизации.

Перечень редких почв, внесенных в Красную книгу почв Пермского края, включил 24 почвенные разности. Большая часть этих почв сформирована на элювии пермских пород: известняках, мергелистых и красноцветных глинах, гипсах, конгломератах, песчанниках (рисунок). Генетические особенности этих почв связаны с тем, что почвообразующие породы по химическому составу резко отличаются от среднего состава доминирующих в регионе почвообразующих пород – элювиально-делювиальных (покровных) суглинков. Серогумусовые почвы и литозёмы на элювии и элюво-делювии карбонатных породах (известняках, мергелистых глинах, доломитах) встречаются по всей равнинной части Пермского края, за исключением самых северных. Больших массивов они не образуют, занимают верхние части склонов, перегибы холмов, вершины и склоны холмовидных возвышений. На элювии пермских красноцветных глин развиты серогумусовые почвы со слабодифференцированным профилем красновато-бурой окраски. Дерновые горизонты «красноцветных» почв имеют комковато-зернистую структуру, высокую емкость поглощения, значительную ненасыщенность основаниями, высокое содержание «бурой» фракции гуминовых кислот. Образующиеся при выветривании минералы в составе железисто-глинистых кутан покрывают поверхность минеральных частиц, что тормозит

процессы морфологической дифференциации профиля. На склонах холмов и речных долин почвообразующими породами могут выступать песчаники, конгломераты, гранулометрический состав которых определяет особые генетические свойства серогумусовых почв. На элювии гипсов описаны серогумусовые почвы, на плотных гипсах – сухоторфяно-литозёмы (рисунок). Охрана почв на элювии пермских пород непосредственно связана с охраной редких и исчезающих видов растений остепнённых лугов.



В период таяния ледников осадконакопление в долине р. Камы в значительной мере определялось поступлением песчаных отложений мезозоя, поэтому откладывался перигляциальный песчаный аллювий. В категорию редких почв вошли почвы камских террас: псаммозёмы гумусовые и серогумусовые почвы на древнеаллювиальных песках. Псаммозёмы гумусовые представлены типичными, оподзоленными, иллювиально-ожелезненными и псевдо-фибровыми подтипами.

В перечень редких почв включили дерново-элювозёмы на двучленных породах (супесях, связных песках и легких суглинках, подстилаемых тяжелыми суглинками и слоистыми глинами), которые встречаются на вторых и третьих надпойменных террасах р. Камы в пределах абсолютных высот 108-119 м. Под серогумусовым горизонтом дерново-элювозёмов залегает хорошо выраженный мощный элювиальный горизонт; место срединного горизонта занимает подстилающая порода со слабыми признаками педогенеза.

В категорию редких почв включены зональные почвы лесостепной почвенной провинции: чернозёмы глинисто-иллювиальные и тёмно-серые почвы, в сумме занимающие менее 1% территории Пермского края. Черноземы Предуралья образовались в наиболее северных позициях европейской части РФ, их образованию способствовали, по-видимому, относительно близко залегающие коренные карбонатные породы. Уникальность чернозёмов проявилась в высоком содержании гумуса, в природных разностях она достигает 13-14% в верхней части и 9-10% - в нижней части тёмногумусового горизонта.

В категорию редких почв вошли почвы низкогорий Среднего Урала, сформированные на элюво-делювии метаморфических пород: бурозёмы, ржавозёмы, подзолы, подбуры, литозёмы, петрозёмы.

В категорию исчезающих почв включили почвы с повышенным природным плодородием: агросерая, агротёмно-серая, агротёмногумусовая почвы и агрочернозём глинисто-иллювиальный. Распашка этих почв в условиях холмисто-увалистого рельефа

сопровождается развитием водной эрозии; снижается мощность гумусовых горизонтов, исчезает агрономически ценная структура.

УДК 631.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Подвезенная М.А.¹, Рыжова И.М.¹, Чернова О.В.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: podvezennaya@yandex.ru;

²Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, Москва, e-mail: ovcher@mail.ru

Рост антропогенной нагрузки на природные экосистемы и глобальное изменение климата в последнее время привели к осознанию необходимости мониторинга параметров круговорота углерода. Почвенное органическое вещество является одним из важнейших резервуаров в этом цикле. Накопление углерода в почве зависит от сочетания множества разнонаправленных процессов, а, следовательно, почва может служить и стоком, и источником CO₂. Для того чтобы иметь возможность оценить изменения, связанные с воздействием человека, крайне актуально получить оценки запасов почвенного углерода в наименее нарушенных экосистемах. Почвы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) предоставляют такую возможность, поскольку охранный статус подразумевает минимальную хозяйственную деятельность. Почвы природных резерватов могут использоваться в качестве эталонов при изучении уровня накопления органического углерода и оценке варьирования данного показателя, связанного с разнообразием природных факторов.

Московская область - давно освоенный, интенсивно развивающийся регион с высокой плотностью населения, вследствие чего практически не осталось территорий без следов антропогенного воздействия. Лесные экосистемы Московской области, как правило, представляют собой различные стадии восстановительной сукцессии. В такой ситуации практически только ООПТ могут использоваться в качестве контрольных эталонных участков.

Целью работы было рассмотрение структуры запасов органического углерода в поверхностном слое минимально нарушенных почв лесов Московского региона. Объектами нашего исследования послужили почвы лесных экосистем заказников «Звенигородская биостанция МГУ и карьер Сима», «Глубокое озеро», национального парка «Завидово» и Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника. Были определены запасы органического вещества органогенных горизонтов (в основном представленных подстилкой, иногда торфяным горизонтом) в абсолютно сухом состоянии. Для пересчета в запасы углерода применялся коэффициент 0,5, кроме почв Приокско-Террасного заповедника, где проводилось прямое определение углерода методом сухого сжигания. Также оценивались запасы органического углерода в верхнем 10-см минеральном слое почв, поскольку мощность минеральных горизонтов с наибольшим содержанием органического вещества (в основном А и АЕ) в изученных почвах в большинстве случаев не превышала 9 см. Запасы органического углерода для этих слоев рассчитывались по содержанию С и плотности почв, определяемым стандартными методиками.

Чтобы наиболее полно охарактеризовать почвенный покров изучаемых ООПТ, мы, по возможности, исследовали не только почвы автономных позиций, но и почвы экосистем, испытывавших дополнительное увлажнение и являющихся элементом естественной мозаики лесных биогеоценозов. Количество повторности измерений составляло 4-76, в зависимости от сложности парцеллярной структуры.

Полученные данные по Звенигородской биостанции показывают, что для ельника черничника на подзолистых почвах среднее значение запасов углерода подстилки составляет

1,98, а для минерального слоя 2,14 кг С/м². В дерново-подзолистых почвах под березняком 0,65 и 1,95 соответственно. Запасы органического углерода в почвах с дополнительным увлажнением варьируют в широких пределах: в органогенных горизонтах от 0,43 в подзолисто-глеевой почве под ельником волосисто-осоковым до 11,06 в торфяно-подзолисто-глеевой близ болота под ельником-долгомошником, что обусловлено формированием торфяного горизонта. В верхнем минеральном слое 0-10 см средние значения в разных экосистемах составляют 1,82-2,69 кг С/м².

В дерново-подзолистой почве под ельником-кисличником в заказнике «Глубокое озеро» запасы углерода в подстилке и верхнем минеральном слое почвы очень близки и составляют 1,04 и 1,08 кг С/м².

Органическое вещество в почвах национального парка «Завидово» изучалась в трех почвах под елово-мелколиственными лесами, различающимися по степени увлажнения. Наибольшее накопление подстилки характерно для подзола (8,00 кг С/м²) поскольку медленно разлагающийся хвойный опад способствует ее накоплению, а наименьшее – для дерново-глеевой (1,60 кг С/м²). В минеральной толще накопление органического вещества в почвах национального парка максимально так же в подзоле (8,33 кг С/м²), так как эта толща представлена грубогумусовым горизонтом, затем идет дерново-глеевая (3,74 кг С/м²) с хорошо развитым гумусовым горизонтом. Минимальные значения (1,72 кг С/м²) соответствуют дерново-подзолистой реградирующей.

Почвы Приокско-Террасного заповедника представлены подзолами и подбурами, достоверно различающиеся по запасам подстилки (средние значения, соответственно 4,63 и 1,53 кгС/м²). Соотношение запасов углерода в подстилке и минеральном слое, в данном случае, имеет обратную тенденцию (1,69 и 1,94 кг С/м²). То есть накопление органического вещества в подстилке, указывающее на замедленность скорости ее разложения приводит к меньшему накоплению гумуса в почве.

Используя полученные данные по всем ООПТ, мы проанализировали зависимость уровня накопления органического углерода от гранулометрического состава, степени увлажнения и типовой принадлежности почв методом дисперсионного анализа. Для исследованных почв достоверные различия запасов органического углерода как в органогенном горизонте, так и в слое 0-10 см были связаны с уровнем увлажнения и типовой принадлежностью почв.

Запасы органического вещества в почвах ООПТ Московской области варьируют в широких пределах, что связано с разнообразием почвенного и растительного покрова, обусловленного, в том числе и направленностью процессов гумусонакопления, а также степенью увлажнения, определяющей скорость трансформации органического вещества. Следовательно, при оценке изменений состояния экосистем, и, в частности, уровня накопления почвенного углерода, необходимо учитывать исходную неоднородность этого показателя в различных почвах, а также соотношение занимаемых ими площадей в составе почвенного покрова.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег.

№ 123030300031-6)

УДК: 502/504+631.4

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЗАПОВЕДНИКИ – ОСНОВА СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПОЧВ В СЕТИ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ООПТ РОССИИ

Присяжная А.А.¹, Чернова О.В.², Снакин В.В.^{1,3}

¹Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, alla_pris@rambler.ru;

²Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, ovcher@mail.ru;

³МГУ имени М.В. Ломоносова (Музей земледелия), Москва, snakin@mail.ru

Введение. Система территориальной охраны природы России, в основе которой лежит географическая сеть заповедников, представляющих все природные зоны, является уникальным наследием прошлого века (Чибилев, Тишков, 2018). Заповедные территории полностью изымаются из хозяйственного использования, и в этом состоит их принципиальное отличие от всех других категорий особо охраняемых природных территорий (ООПТ), включая национальные парки.

Цель работы – выявление вклада различных категорий федеральных ООПТ в охране природного разнообразия почв страны на основании количественных оценок репрезентативности с акцентом на ключевую роль государственных природных заповедников в сохранении природных комплексов.

Методика. Геоинформационный анализ представленности разнообразия почв в 108 государственных природных заповедниках, 66 национальных парках и 63 государственных природных заказниках федерального значения (по состоянию на 01.01.2023 г.) проведен в системе ArcView GIS на основе векторной версии Почвенной карты РСФСР М: 1:2 500 000, дополненной Почвенной картой Крыма того же масштаба. Современная версия Почвенной карты России (ПКР) представлена на сайте Почвенного дата-центра МГУ им. М.В. Ломоносова (<https://soil-db.ru/map?lat=45.0404&lng=36.7987&zoom=7>). Оценка проведена по двум параметрам: площадной представленности – относительной площади различных групп генетически сходных почв (в соответствии с легендой ПКР) в пределах ООПТ, и типологической – числу почвенных разностей (на уровне выделов легенды ПКР), встречающихся в ООПТ. Комплексы почв учтены по преобладающей почве (первая почва в названии комплекса), поскольку площадных соотношений их состава на карте не приводится. В цифровой версии ПКР представлено 259 площадных картографических выделов, идентифицированных как почвы, непочвенные образования и водоемы. При расчетах площадной и типологической репрезентативности учитывали только 254 картографические единицы легенды, идентифицированные как почвы (189 почв и 65 почвенных комплексов).

Результаты. В России 3% площади почвенного покрова охраняется в ООПТ федерального значения (таблица). На заповедники приходится 50,7% общей площади почв охраняемых территорий, на национальные парки и заказники – 34,7% и 14,6%, соответственно.

Представленность отдельных групп почв в заповедниках, национальных парках и заказниках заметно различается. Так, больше 50% охраняемой площади пойменных и гидроморфных почв, почв Арктики и тундры, а также почв горных территорий расположены в заповедниках. В то же время 94% площади засоленных и солонцеватых почв, 70% почв сухих степей и полупустынь и 35% почв степей расположено в заказниках.

Наиболее полно на охраняемых территориях представлены почвы горных территорий и почвенный покров Арктики и тундры (6–8%). Для почв степей степень охвата федеральными ООПТ крайне низкая – 0,3%. Особенно напряженная ситуация отмечается с охраной в заповедниках экосистем степных и сухостепных регионов: площадная представленность почв и почвенных комплексов степей составляет всего 0,07%, сухих степей и полупустынь – менее 0,5%, засоленных и солонцеватых – 0,1%.

Репрезентативность системы федеральных ООПТ в отношении почвенного разнообразия в целом по стране составляет 69% (таблица). В пределах федеральных ООПТ представлено 159 картографических единиц легенды (133 почвы и 26 почвенных комплексов). Выявлены значительные различия в представленности в ООПТ почвенного разнообразия различных групп почв. Для групп гидроморфных почв, пойменных и маршевых почв, а также почв тайги и хвойно-широколиственных лесов показатель репрезентативности составляет около 80%. Отмечена низкая степень охраны разнообразия почв степей и засоленных и

солонцеватых почв – всего 55% и 47%, соответственно, типологического разнообразия представлено в системе федеральных ООПТ.

Таблица. Площадная и типологическая представленность разнообразия почв в ООПТ федерального значения, %

Группы почв	Площадная, %		Типологическая, ед. (%)	
	Заповедники	Все ООПТ	Заповедники	Все ООПТ
Арктика и тундра	3,3	6,1	16 (52)	19 (61)
Тайга и хвойно-широколиственные леса	1,2	2,5	53 (62)	66 (78)
Широколиственные леса и лесостепи	1,7	4,3	10 (53)	12 (63)
Степи	0,07	0,3	13 (42)	17 (55)
Сухие степи и полупустыни	0,5	2,3	13 (54)	15 (63)
Субтропики	0,7	6,4	2 (67)	3 (100)
Гидроморфные	1,4	2,6	17 (65)	21 (81)
Засоленные и солонцеватые	0,1	1,7	3 (20)	7 (47)
Пойменные и маршевые почвы	1,5	2,5	7 (70)	8 (80)
Почвы горных территорий	4,0	7,7	7 (70)	7 (70)
Россия	1,5	3,0	141 (56)	175 (69)

Определена значимость различных категорий ООПТ федерального значения в охране почвенного разнообразия. Основу системы ООПТ страны составляют заповедники. Из общего числа почвенных выделов ПКР (254 единицы) охрану большей части разнообразия (141 единицу) обеспечивают заповедники (56%). В национальных парках представлено 100 почвенных разностей, из них только 18 (7%) новых по отношению к уже выделенным в заповедниках; в заказниках – 104, из них 16 (6%) новых по отношению к представленным в заповедниках и национальных парках. Таким образом репрезентативность федеральных ООПТ в отношении почвенного разнообразия составляет 69%, что лишь на 13% превышает репрезентативность, обеспечиваемую государственными заповедниками. Особенно необходимо отметить важную роль заповедников в сохранении природного разнообразия степных почв страны: 42% разнообразия почв группы степей и 54% – группы почв сухих степей и полупустынь. При этом национальные парки и заказники, более чем в 3 раза превышающие заповедники по площади для почв группы степей и в 4 раза для почв группы сухих степей и полупустынь, повышают типологическую репрезентативность лишь на 13% и 8%, соответственно.

В целом по стране 81% типологического почвенного разнообразия, представленного в ООПТ федерального значения, сосредоточено в заповедниках, при том, что они занимают всего половину площади всех федеральных ООПТ. Практически для всех рассматриваемых групп почв этот показатель достигает 80% и более, за исключением группы засоленных и солонцеватых почв – 43% (но и площадь почв этой группы, охраняемая в заповедниках, составляет всего 6%).

Таким образом, площадная и типологическая представленность почв России в пределах федеральных ООПТ всех категорий составляет 3% и 69%, соответственно. Ядром сохранения почвенного разнообразия являются заповедники: они занимают 51% общей площади федеральных ООПТ, при этом обеспечивают охрану 56% почвенного разнообразия страны, что составляет 81% разнообразия, сохраняемого в ООПТ. Показано, что наиболее остро стоит проблема сохранения природного разнообразия почв степных и сухостепных регионов, к которым приурочена большая часть сельскохозяйственных земель России.

УДК 631.4

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕДКИХ ЛИТОГЕННЫХ ПОЧВ В ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ Г. ПЕРМЬ

Сайранова П.Ш.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,
sairanova.p@gmail.com

Постановлением Правительства Пермского края № 447-п дерново-элювоземы на двучленных породах, псаммоземы камских террас, серогумусовые почвы на пермских породах включены в перечень редких почв, находящихся под особой охраной Росреестра Пермского края и органов местного самоуправления муниципальных образований. В связи со статусом особо охраняемых почв возникла необходимость дополнить морфогенетическую характеристику редких почв в природно-рекреационной зоне г. Перми.

Под липово-хвойными лесами на II и III надпойменных террасах р. Камы верхний нанос легкосуглинистых или супесчаных пород мощностью около 60 см подстиляется опесчаненными некарбонатными глинами. В верхней части изученных дерново-элювоземов развито образование серогумусовых аккумуляций и элювирование, текстурный горизонт отсутствует. Обобщенная формула почвы: AY-EL-Del-D. Почвы характеризуются сильнокислой реакцией среды (pH_{сол} варьирует от 3,7 до 4,2) и слабой насыщенностью основаниями. Гидролитическая кислотность резко снижается в подстилающей породе. Почвенный профиль в пределах 1,5 м существенно дифференцирован по содержанию грубодисперсных фракций и илистой фракции гранулометрического состава. Серогумусовый горизонт представлен легким суглинком пылевато-песчаным, а подстилающая порода – тяжелым суглинком песчано-иловатым (рис.).

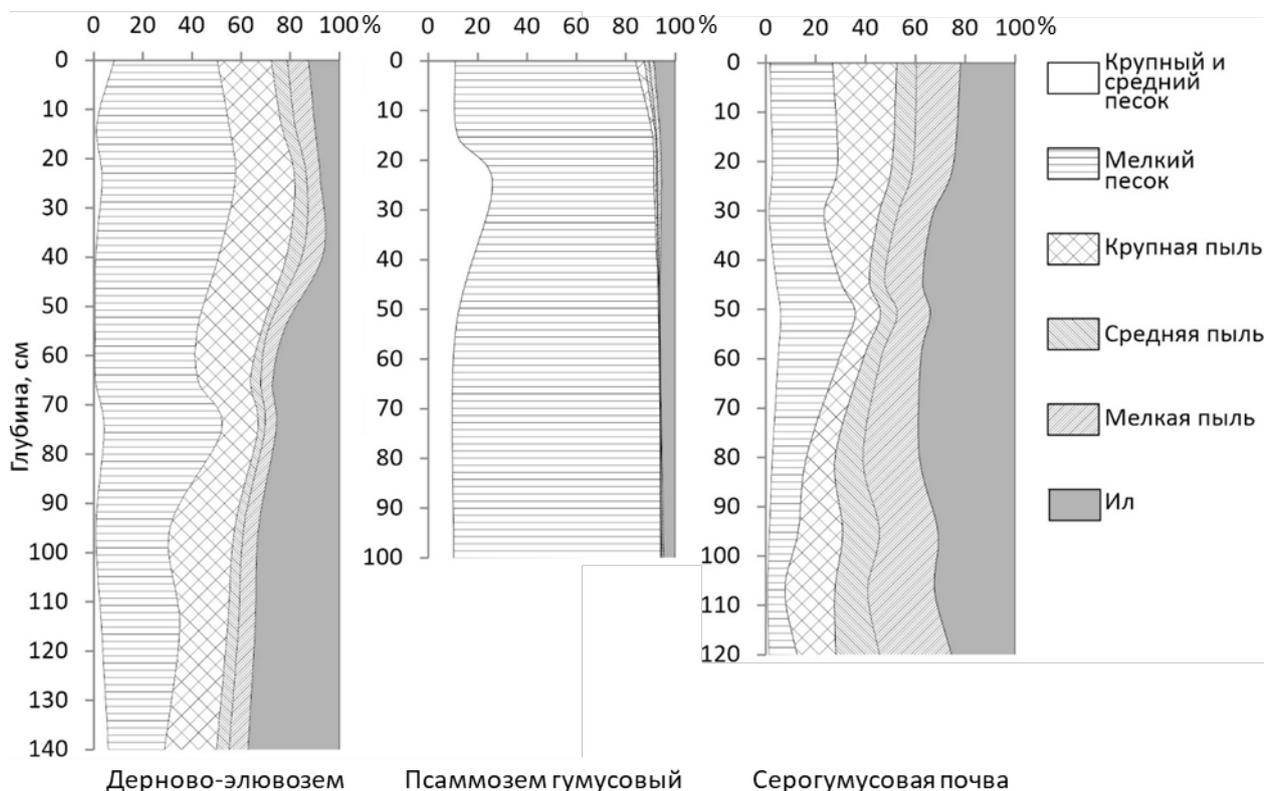


Рисунок – Гранулометрический состав редких почв

Реликтовые сосновые леса на древнеаллювиальных песках расположены на I и II надпойменных террасах берегов Камы. В псаммоземах почвенные процессы представлены начальным гумусонакоплением, может проявиться селективное оподзоливание, приводящее к удалению железистых пленок с поверхности песчаных частиц. В переходных горизонтах

встречались слабые признаки ожелезнения с образованием. Таким образом, разнообразие псаммоземов гумусовых представлено типичными (формула профиля W-C^o), оподзоленными (W-Se-C^o), иллювиально-ожелезненными (W-Cf-C^o) и псевдофибровыми (W-Cff-C^o) подтипами. Гранулометрический состав гумусово-слаборазвитого горизонта псаммоземов представлен супесью мелкопесчаной. Гранулометрический состав почвообразующей породы – песок связный мелкозернистый или песок рыхлый среднезернистый (рис.). В гумусово-слаборазвитых горизонтах почв содержание органического углерода составляло от 3,9 до 6,5%; относительно породы характерна наиболее кислая реакция среды, относительно повышенные емкость поглощения и содержание физической глины. Для минеральных горизонтов характерна сильнокислая реакция и низкая насыщенность основаниями, очень низкая емкость поглощения, связанная с низким содержанием физической глины.

На склонах холмов под липовыми лесами на элювии пермских опесчаненных глин изучены серогумусовые почвы. Почвы имеют серогумусовые горизонты мощностью около 10-16 см, обладающие зернистой или комковато-зернистой структурой. Благодаря повышенному содержанию в почвообразующих породах несиликатного железа, а также карбонатов, процесс дифференциации почвенного профиля заторможен. Обобщенная формула почвенного профиля: АУ-С(са). Количество органического вещества в серогумусовом горизонте составляло 6-8%. Гумусированная часть профиля имеет кислую реакцию среды, почвообразующая порода – нейтральную реакцию; содержание обменных оснований высокое. У почв преимущественно тяжелосуглинистый гранулометрический состав, содержание физической глины составляло 40-50%; в отдельных слоях преобладающей фракцией был мелкий песок. Высокое содержание ила (20-40%) придает профилю плотность, связность и повышенную влагоемкость. Почвообразующие породы сложены глинистыми (тяжелосуглинистыми) слоями с песчаными прослойками и линзами (рис.).

Основными задачами по охране почв являются сохранение ценного почвенного объекта, своевременное выявление негативных изменений состояния почв, полнота и достоверность информации о состоянии почв, а также предотвращение загрязнения почв. Нами проводятся исследования по современному фоновому содержанию тяжелых металлов в редких литогенных почвах природно-рекреационной зоны г. Перми, оценке устойчивости этих почв при прогрессирующем загрязнении свинцом, кадмием, медью и цинком.

Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ, проект FSNF-2020-0021.

(N) РАБОЧАЯ ГРУППА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЧЕРНОЗЕМОВ

УДК 631.41

ИЗУЧЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ

Барахов А.В.¹, Бауэр Т.В.¹, Манджиева С.С.¹, Минкина Т.М.¹, Лацынник Е.С.¹, Мальцева Т.А.¹, Яковленко А.Ю.¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, tolik.barahov@mail.ru

Почва - ключевой компонент биосферы способный аккумулировать различные химические вещества, в том числе и загрязняющие, а также выполнять активную роль естественного буфера, способствующего переносу веществ из гидросферы, атмосферы в живые организмы. Повсеместное усиление процессов урбанизация и индустриализации привело к соразмерному увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, которые через механизмы переноса в природе способны попадать в почву, а затем в растения, что в последствии приводит к встраиванию в трофические цепи и попаданию в организм человека. Почвенные компоненты обладают способностью закреплять и прочно удерживать металлы из антропогенных источников. Тяжелые металлы – одни из главных загрязняющих элементов. Одним из приоритетных загрязняющих веществ является медь, в том числе естественный биофильный микроэлемент, выполняющий жизненно важные функции в живых организмах. При повышении концентрации негативно влияет на рост растений, частоту фотосинтеза и дыхания растений, а также вызывает гипотензию, повреждения почек и печени в организме человека. Для нивелирования негативного влияния тяжелых металлов на живые организмы необходима разработка технологий ремедиации загрязненных почв. В настоящее время особенно распространены методы ремедиации загрязненных почв, базирующиеся на связывании и удалении ТМ *in situ* путем внесения сорбентов, способствующие прочному закреплению металлов в почве. Углеродистый сорбент (биочар) – стабильный, инертный материал богатый углеродом, являющийся продуктом пиролиза растительного сырья, обладающий большим количеством пор и высокой абсорбционной способностью. Для оценки эффективности применения биочара с целью ремедиации загрязненных почв необходимо изучение фракционного состава металлов в почве. Метод фракционирования по Тессье (1979) лучше всего подходит для определения общей степени загрязнения почвы техногенными металлами и может предоставить информацию о природе и уровне загрязнения.

Цель работы – изучить фракционный состав соединений Си в черноземе обыкновенном при внесении биочара в условиях искусственного загрязнения.

Опыт был заложен на черноземе обыкновенным карбонатном тяжелосуглинистом на лессовидных суглинках (Ростовская обл.), отобранным на целинном участке. Почва обладает следующими физическими и химическими свойствами: физ. глина – 52,8%, ил – 30,9%, Сорг. – 3,2%; ЕКО – 35,4 ммоль (+)/100 г; обменные катионы (ммоль (+)/100 г): Ca²⁺ – 29,5, Mg²⁺ – 4,9; СаСО₃ – 0,2%; рН – 7,2. В почву внесен водный раствор солей ацетата Си в дозе 660 мг/кг, что соответствовало 5 ОДК (СанПиН 1.2.3685–21). Доза внесения металла соотнесена со встречающимся уровнем загрязнения в Ростовской области. Схема опыта включает следующие варианты: 1) контроль; 2) контроль + Си 5 ОДК; 3) контроль + Си 5 ОДК + 2,5% биочар. Повторность опыта трехкратная. Общее содержание Си в почве определяли рентгенфлуоресцентным методом с использованием спектроскана «МАКС-GV».

Фракционный состав Си в почве модельного опыта изучен с использованием метода Тессье (Tessier et al., 1979). Содержание металла в вытяжках определено методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на спектрометре «КВАНТ-2». Все анализы выполнены в трехкратной аналитической повторности. Статистическая обработка полученных результатов выполнена при помощи программ STATISTICA 8.

Методом последовательного фракционирования в модельном опыте было установлено, что соединения Cu в незагрязненном черноземе обыкновенном карбонатном преимущественно представлены остаточной и связанной с органическим веществом фракциями, на долю которых приходится 81% (рис.1).

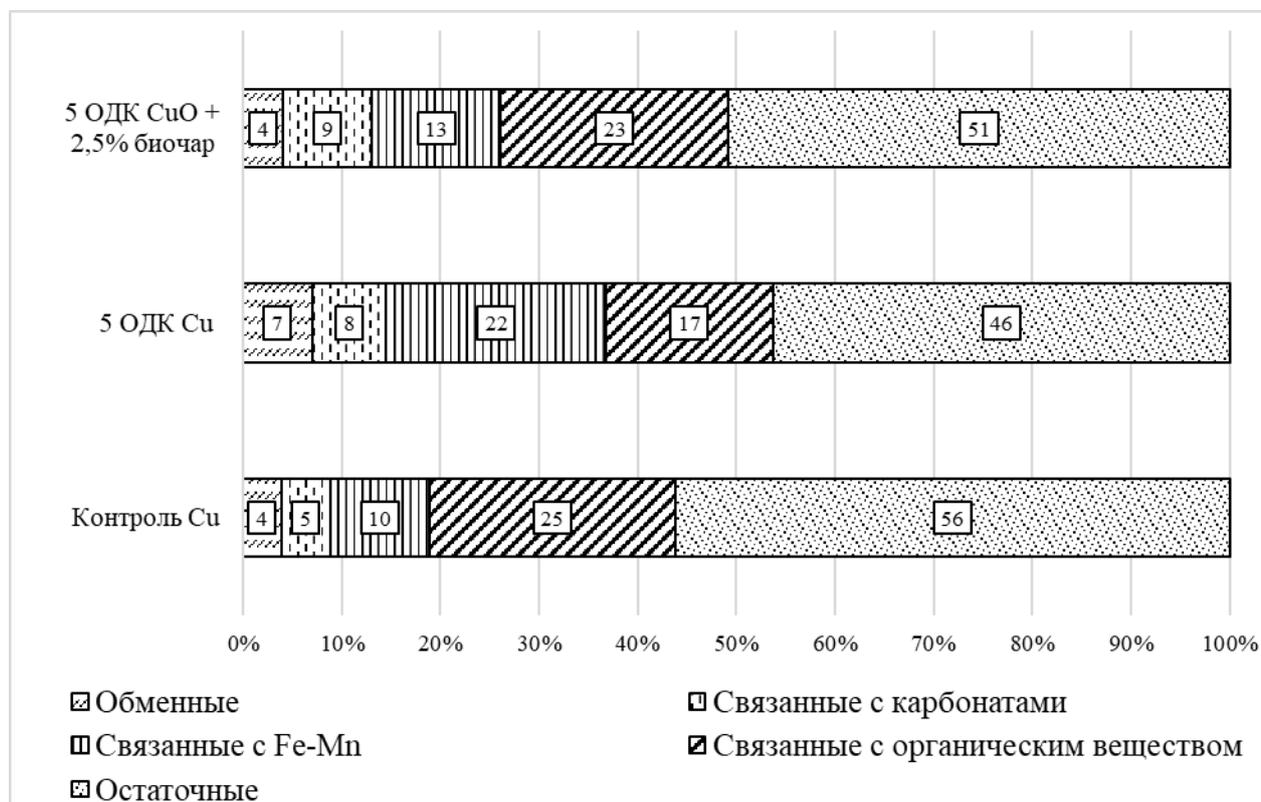


Рисунок 1. Фракционный состав соединений Cu, % от валовых форм

Внесение металла в почву приводит изменению фракционного состава: происходит рост обменной фракции и фракции, связанной с оксидами Fe-Mn, в 2 раза (рис.1). Органическое вещество играет основную роль в удержании Cu при техногенной нагрузке: происходит повышение доли фракции в 1.4 раза по сравнению с контрольным вариантом. При внесении Cu в дозе 660 мг/кг наблюдалось снижение самой устойчивой фракции – остаточной, на 10% по сравнению с контролем, что указывает на слабое влияние Cu на один из самых стойких компонентов почвы – глинистые минералы.

Внесение биочара в загрязненную почву способствует смещению распределения фракций: связанная с органическим веществом фракция возрастает на 14%, также отмечается снижение связанной с оксидами Fe и Mn фракции в 2 раза. Данные изменения сопоставимы с результатами незагрязнённого варианта (рис.1).

Таким образом, методом последовательного фракционирования установлены изменения фракционного состава Cu в черноземе обыкновенном карбонатном при искусственном загрязнении и внесении сорбента. Преимущественное накопление Cu происходит во фракции, связанной с органическим веществом и оксидами Fe-Mn. Применение углеродистого сорбента способствует перераспределению фракционного состава Cu близко к незагрязненному контрольному варианту, что говорит об эффективности использования данного сорбента.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение №075-15-2022-1122, и при поддержке

Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

УДК 631.435

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ, УСТАНОВЛЕННЫЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА БАЗЫ ДАННЫХ

Болдырева В.Э.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, maskow@mail.ru

Гранулометрический состав почвы используется для решения большого спектра научных и прикладных задач различного масштаба в области агрохимии, мелиорации, антропогенного влияния – от исследовательских до экспертных.

Массив данных гранулометрического состава, агрегированный в базу данных (БД), позволяет использовать его с большей эффективностью, поскольку принципы составления, пополнения, структурирования БД предполагают, что результаты анализов, вносимые в базу в больших количествах, валидированы и достоверны. Гранулометрический состав почв вследствие генетической устойчивости и его интегральной природы является одним из важнейших показателей, а исследования по изучению его состава могут проводиться с любым количеством параметров в их взаимовлиянии одновременно.

Чтобы проиллюстрировать важность значения природы и качества результатов гранулометрического анализа, вносимых в базу данных, нами были проведен ряд экспериментов по сравнению методов изучения гранулометрического состава, а также выполнена инвентаризация накопленной архивной информации, структурированной и агрегированной на базе Регионального почвенного дата-центра Ростовской области. Так в части методологии для черноземов обыкновенных карбонатных результаты определения разновидности полевым методом шнура имеют сходимость с пипет-методом в пределах текстурного класса. В части различной пробоподготовки почвы к анализу пипет-методом по Качинскому (кислотно-щелочная и пирофосфатная) установлено, что для верхних горизонтов результаты определения гранулометрического состава также определяются в одном текстурном классе. Для получения сопоставимых сходных результатов классического пипет-метода с ареометрическим методом (ГОСТ 12536-2014) разработана модификация в части подготовки к анализу, а именно введено изменение в соотношение пептизатора и почвы путем увеличения пирофосфата натрия в 12 раз по сравнению с рекомендуемым в ГОСТ количеством. Только при таком соотношении результаты, получаемые двумя методами (ареометрическим и методом пипетки), сопоставимы.

В результате инвентаризации разрозненной архивной почвенной информации о гранулометрическом составе почв Ростовской области, накопленной на базе дата-центра, был установлен ряд закономерностей:

- 56% всех данных гранулометрического состава представлены черноземами обыкновенными и южными, в соотношении 53,6 и 46,4% соответственно;
- в 21,6% случаев описание верхних горизонтов почвенных разрезов не совпадает с данными результатов лабораторного определения, для нижних горизонтов эта цифра выше – 33,7%;
- преобладающими разновидностями среди черноземов обыкновенных карбонатных Ростовской области являются тяжелосуглинистая и легкоглинистая;
- имеется следующая тенденция – количество образцов увеличивается у верхней границы суглинков и нижней границы глин, по нашему мнению, это характеризует стремление системы к равновесному (устойчивому) состоянию, которое соответствует содержанию физической глины 60%;
- среднестатистический гранулометрический состав чернозёмов обыкновенных характеризуется как легкоглинистый и имеет два максимума – во фракциях крупной пыли и

ила, что наблюдается как по отдельным почвенным районам, так и по всей Ростовской области в целом, как по верхним, так и по нижним горизонтам.

Среднестатистические значения содержания физической глины (ФГ) в черноземах обыкновенных по результатам инвентаризации данных базы Регионального почвенного дата центра Ростовской области представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Среднестатистическое содержание физической глины в черноземах обыкновенных, %

Слой почвы	ФГ общая	ФГ тяжелые суглинки	ФГ легкие глины	ФГ средние глины
Верхние горизонты (0–20 см)	63,0	55,0	65,9	76,2
Нижние горизонты (материнская порода)	64,4*	56,4*	66,2*	77,1*

* – коэффициент вариации для содержания физической глины не превышает 10%

Полученные нами результаты позволяют сделать вывод о том, что качество и природа данных, их способ получения и достоверность, используемых в исследованиях и для решения поставленных задач, имеют большое значение для получения информации более высокого порядка.

Для анализа и обобщения данных целесообразно руководствоваться разработанной нами системой принципов интерпретации материалов, накопленных в почвенном дата-центре, которая заключается в выполнении следующих этапов: логико-терминологический анализ → контекстность данных → проверка и подтверждение данных → полнота информации → систематизация и обобщение (получение информации более высокого порядка).

Отступления от такой последовательности или исключение каких-либо этапов чревато нарушением логических построений и ошибками интерпретации полученных результатов, особенно если речь идет о таком важном показателе как гранулометрический состав почв. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22–76–10054) в Южном федеральном университете.

УДК 631.4

ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОЗЕМОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИОБСКОГО ПЛАТО, ОТРАЖАЕМЫЕ В ГУМУСОВЫХ ПРОФИЛЯХ ПОЧВ

Захарова Е.Г.

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, e-mail: zakharova@issa-siberia.ru

Изучены черноземы северо-восточной части Приобского плато в пределах ключевого участка «Володарка» (52°41-42' с. ш. и 83°38' в. д.). Территория исследования характеризуется разнообразным рельефом: преобладают плакорные участки в сочетании с пологими склонами (не более 4–5°). Встречаются также склоны, представляющие собой серию уступов с выровненным или пологим мезорельефом. В разных частях ключевого участка распространены преимущественно автоморфные почвы: черноземы обыкновенные, реже черноземы южные (по классификации почв 1977 г.; согласно новой Классификации почв России 2004 г. – подтип миграционно-мицелярных и текстурно-карбонатных; согласно WRB 2022 г. – Chernozems с квалификаторами calcic и silty). Почвообразование протекает в условиях континентального климата с недостаточным увлажнением под степными ассоциациями. Одна часть изученных разрезов сформирована на мощной толще лёссовых отложений и имеет черты, типичные для черноземов, другая – на разных горизонтах разновозрастных и разногенетических палеопочв, выходящих к поверхности, поэтому

представляющие собой почвенные профили, несут признаки, несоответствующие современным условиям почвообразования. В связи с этим, почвы, расположенные на изучаемой территории, отличаются значительной неоднородностью не только морфологических, но и физико-химических и химических свойств. Варьирование свойств почв особенно четко проявляется при сравнении их на уровне гумусовых профилей, которые рассматриваются нами как совокупность сопряженных однородных зон (слоев) почвы, имеющих черты проявления разных наборов элементарных гумусообразовательных процессов, их сочетания и степень выраженности, зависящих от смены биоклиматических условий в период формирования почвенных профилей. Для построения гумусовых профилиграмм использовались разные характеристики гумусовой составляющей почв, которые получены при подробном послойном (каждые 5–10 см или менее, с учетом границ генетических горизонтов) анализе состава гумуса по методике В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой в модификации 1968 года.

Анализ и сравнение гумусовых профилей почв, сформированных на мощных лёссовидных отложениях в разных частях изучаемого ключевого участка с аналогичными морфологическими свойствами и одинаковыми формулами профиля, выявил ряд их общих характеристик. Максимальное содержание общего органического углерода ($C_{орг}$) наблюдается в верхней гумусово-аккумулятивной толще почвы (в среднем около 4%), количество которого с глубиной снижается постепенно. Гуминовые кислоты (ГК) преобладают над фульвокислотами (ФК) только в верхней части профиля, в остальных горизонтах превалируют фульвокислоты. Среди гуминовых кислот во всем профиле большую часть составляют черные их формы. Основная масса бурых гуминовых кислот аккумулируется в верхней части профиля, доля ГК остальных выделенных форм – низкая. Содержание наиболее подвижных форм фульвокислот фракции 1а по профилю почвы равномерное или слабо флуктуирующее, их доля с глубиной постепенно увеличивается. Содержание негидролизующих форм гумусовых веществ занимает наибольшую долю в составе гумуса практически во всех горизонтах. Тип гумуса изменяется по профилю от гуматного ($C_{гк}:C_{фк}$ больше 1,5) через фульватно-гуматный до перехода в фульватный тип в нижних горизонтах профиля, когда в составе гумуса фульвокислоты преобладают над гуминовыми более, чем в два раза.

Изучение особенностей гумусовых профилей с морфологически сложным строением почв показало, что каждый индивидуальный, отличающийся по морфологии почвенный профиль имеет неоднозначный набор горизонтов и параметры гумусовой составляющей почв, что четко прослеживается в особенностях профилиграмм. В них по сочетанию показателей состава и свойств гумуса, прежде всего, выделяются один–три горизонта с относительным накоплением гумусовых веществ, часто с гуматным или фульватно-гуматным составом гумуса. Эти различия могут быть связаны с присутствием в изучаемых профилях дополнительно разных генетических горизонтов древних почв. Общей чертой в распределении органического углерода для этих почв является резкое сокращение его количества с глубиной, которое во всех разрезах в среднем лежит в диапазоне от 4% до десятых долей процента. В профилях этих почв на разной глубине часто обнаруживается еще один или два максимума относительного накопления органического углерода, который отражает наличие палеопочвенных гумусовых горизонтов. Долевое количество гуминовых и фульвокислот в изученных разрезах существенно колеблется по профилю. В верхней его части преобладают гуминовые кислоты, где их соотношение ($C_{гк}:C_{фк}$) в разных разрезах лежит в пределах от 1,1 до 1,9, что охватывает широкий круг типов гумуса от гуматно-фульватного, фульватно-гуматного до гуматного. Вниз по профилю это отношение, как правило, резко снижается (до 0,3–0,6). С глубиной оно изменяется, вновь возрастая в присутствующих в профилях палеогумусовых горизонтах, и вновь уменьшает свою долю в горизонтах другого генезиса. В таких почвах колебание $C_{гк}:C_{фк}$ носит наиболее сложный характер, а в профилях почв может наблюдаться несколько максимумов накопления

углерода гуминовых кислот, не превышающем, однако, 45% от общего его содержания в почве. В разных горизонтах этих почв со сложным гумусовым профилем содержание фульвокислот может колебаться в очень больших пределах, не превышающих 55-60%. Распределение по профилю остальных групп и фракций гумусовых веществ также носит флуктуирующий характер. Подвижные формы гумусовых веществ обнаруживаются только в самой верхней части профиля, составляя незначительную (не более 10%) долю в составе гумуса.

Таким образом, палеопочвы исследуемой территории со сложным гумусовым профилем отличаются неоднородностью состава гумуса по глубине, наличием нескольких горизонтов с повышенной гуматностью гумуса, что подтверждается, в том числе, и морфологическим обликом почв.

Анализ и сопоставление полученных материалов, характеризующих гумусовые профили чернозёмов северо-восточной части Приобского плато, выявил их особенности, проявляющиеся в существенном варьировании характеристик и разной степени их проявления. Внутрипрофильная неоднородность количественных параметров гумусовых веществ и их соотношений в целом лежит в пределах, характерных для почв степных условий почвообразования с разным уровнем увлажнённости. Однако, выявленное присутствие в профилях на разных глубинах относительно мощных горизонтов с повышенной гуматностью гумуса, а также причина существенного варьирования свойств гумусовых профилей исследуемых чернозёмов объясняется сложной историей формирования территории, где в результате экзогенных процессов на дневную поверхность выходят различные горизонты разновозрастных и разногенетичных палеопочв. В связи с этим, в их профилях обнаруживаются остаточные признаки палеопедогенеза, которые проявляются в пределах толщи, обычной для сформированных полнопрофильных современных почв.

Материалы изучения гумусовых профилей почв могут использоваться при мониторинге состояний почв, выявлении эволюции конкретных почв и условий их формирования, а также при обосновании прогнозов их поведения в изменяющихся экологических условиях функционирования.

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

УДК 631.45

ФИТОТОКСИЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО УДОБРЕНИЯМИ БИОЧАРА НА ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ

Клиндухова Ю.Ю., Черникова Н.П.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, y89889442692@gmail.com

Биочар широко используется в качестве почвенного мелиоранта ввиду способности смягчать и нивелировать различные агроэкологические стрессы на сельскохозяйственные культуры. Использование биочара, модифицированного минеральными удобрениями, будет способствовать пролонгированному высвобождению удобрений, что повысит их эффективность. Выявление потенциального ингибирования углеродистого материала на ранний рост культурных растений является важным этапом перед его применением в агрономических целях.

Целью исследования являлось изучение фитотоксичности модифицированного удобрениями биочара из шелухи лука на черноземе обыкновенном.

Для достижения поставленной цели был проведен фитотест с пшеницей мягкой (*Triticum aestivum*) сорта Иргина согласно ГОСТ 10968-88 и ГОСТ 12038-84. Биочар получали путем пиролиза шелухи лука (БШЛ) при температуре 500°C, промывали КОН и насыщали удобрениями: жидкое комплексное удобрение (ЖКУ), содержащее N и P в соотношении 11:37; фосфаты мочевины (ФМ) при соотношении N (14%) и P (44%); нитроаммофоска (Н)

при равном соотношении (16%) NPK. В чашки Петри с черноземом обыкновенным карбонатным (ООПТ Персиановская заповедная степь) вносили 0.25% и 0.5% насыщенного удобрениями БШЛ, инкубировали 2 недели и проводили посев зерновок тест-культуры. Для оценки фитотоксичности модифицированного биочара изучены морфометрические параметры пшеницы мягкой на 3-и сутки (энергия прорастания) и 7-е сутки (всхожесть, длина корней, высота побега и сырая биомасса).

Средняя длина корней и высота надземного побега пшеницы контрольного варианта составили 13,9 см и 25,6 см при сырой массе 1,02 г и 1,97 г, посевные качества соответствовали ГОСТ Р 52325-2005 (табл. 1). Внесение насыщенного удобрениями БШЛ на всех вариантах опыта не оказало токсического эффекта на рост и биомассу растений, при этом энергия прорастания и всхожесть характеризовались высокими значениями. На вариантах с разными дозами мелиорантов (0.25% и 0.5%) существенных различий в морфометрических параметрах не установлено. Среди рассматриваемых видов биочара достоверное увеличение высоты побега, сырой массы корней и побега по сравнению с контрольным вариантом выявлено на вариантах внесения 0.5% БШЛ+ФМ и БШЛ+Н.

Таблица 1 - Морфометрические параметры пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) при внесении в почву насыщенного удобрениями биочара из шелухи лука

Варианты опыта	Длина корней, см	Высота побега, см	Сырая масса корней, г	Сырая масса побега, г	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	13.9	25.6	1.02	1.97	100	100
БШЛ 0.25+ЖКУ	14.5	25.9	0.95	2.03	98	100
БШЛ 0.50+ЖКУ	14.0	26.7	1.09	2.01	100	100
БШЛ 0.25+ФМ	13.3	26.8	1.10	2.05	100	100
БШЛ 0.50+ФМ	15.0	27.2*	1.13*	2.17*	100	100
БШЛ 0.25+Н	14.2	26.1	0.98	2.00	100	100
БШЛ 0.50+Н	15.1	27.4*	1.19*	2.15*	100	100

* - различия статистически достоверны ($p \leq 0.05$)

Таким образом, модифицированный тремя видами удобрений биочар из шелухи лука не оказывает ингибирование раннего роста растений. Для выявления оценки высвобождения элементов питания из модифицированного минеральными удобрениями биочара и влияния на урожайность с/х культур необходимо дальнейшее проведение вегетационных модельных опытов с изучением содержания NPK в почве и растениях на разных фазах вегетации. Исследование выполнено при поддержке проекта БРИКС Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение №. 075-15-2022-1247.

УДК 631.4

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЗЕРНОГРАДСКОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Кучменко Е.В., Бирюкова О.А., Литвинов Ю.А., Жолудев Р.О.

Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, ku4menko1997@mail.ru

Цифровизация сельского хозяйства и внедрения современных геоинформационных технологий необходимы для решения задачи продовольственной безопасности нашей страны.

С помощью современных информационных технологий и цифровых инструментов возможно провести инвентаризацию и мониторинг земель сельскохозяйственного назначения, получить актуальную информацию о их состоянии для повышения эффективности использования, сделав его более рациональным.

Объектом исследования был выбран зерноградский район Ростовской области. Рельеф района представляет собой ровные и пологие равнины. Климат этого района носит континентальный характер с умеренно жарким летом и с умеренно холодной весной. Континентальность проявляется также и в резких колебаниях температур и низкой относительной влажностью воздуха.

Почвообразующими породами на данной территории почти повсеместно являются лессовидными глинами и суглинками. Основными почвами являются черноземы обыкновенные карбонатные, обладающие высоким плодородием.

Также этот район имеет сильную антропогенную преобразованность, около 90% территории является землями сельскохозяйственного назначения

Для оцифровки были использованы карты внутрихозяйственного землеустройства угодий в масштабе 1:25 000 территорий хозяйств зерноградского района, выполненные в 1993 г.

Также были использованы спутниковые снимки в разрешении 3-6 м/пиксель из открытых источников.

Оцифровка выполнялась по методике векторизации архивных картографических материалов, разработанной на базе Южного федерального и МГУ.

Для анализа оцифрованных векторных данных использовались подходы пространственного анализа в геоинформационной системе Arc GIS 10.8

Была выполнена оцифровка геореференсированных архивных карт землепользований зерноградского района. На их основе с использованием актуальных космических снимков ESRI была выполнена корректировка границ угодий для получения представления о текущем состоянии и границах земель сельскохозяйственного назначения.

При сравнении архивных и актуальных данных (таблица 1) необходимо отметить, что территории пашен уменьшились на более чем 9,9 тыс. га, также сократились территории пастбищ на 2,8 тыс. га. Это связано с расширением границ населенных пунктов (770 га) и заболоченных участков (2,1 тыс. га). Также отмечается незначительное увеличение площади, занимаемой многолетними насаждениями (180 га).

Таблица 1 Сравнительные данные площадей различных территорий зерноградского района

Тип территории	Площадь, га	
	1993 г.	2023 г.
Пашня	229 797	219 876
Пастбища	19 365	16 531
Населенные пункты	5482	6252
Заболоченные участки	941	3069

УДК 631.4

ЛЕССОВИДНЫЕ ПОРОДЫ – МИНЕРАЛЬНАЯ МАТРИЦА ОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ

Морозов И.В., Шерстнев А.К., Болдырева В.Э., Безуглова О.С.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, migovad@sfedu.ru

Почвообразующие породы являются минеральной матрицей для формирования почв различного генезиса, определяя их минералогический и химический состав, физические, химические, физико-химические, биологические и другие свойства, а также процессы и режимы. Согласно данным Регионального почвенного дата-центра Ростовской области, в качестве материнских пород почв Северного Приазовья выступают преимущественно верхнечетвертичные отложения, в центральной, южной и юго-восточной частях, как правило, лессовидные суглинки и глины, а на севере области – желто-бурые и красно-бурые тяжелые суглинки и легкие глины. Выходы коренных пород сравнительно редки.

Анализ данных показывает, что большинство почв на территории Северо-Приазовского района сформированы на лессовидных суглинках, к этим породам приурочены черноземы обыкновенные карбонатные, в которых среднестатистическое содержание «лессовой» фракции (0,05–0,01 мм) в горизонтах А и С лежит в пределах 30,1–31,7 %, что позволяет сделать вывод о прямой взаимосвязи гранулометрического состава почвообразующей породы и содержания крупнопылевой фракции в почвенных горизонтах.

Диагностическими признаками лессов и лессовидных пород являются высокая пылеватость, макропористость, карбонатность и просадочность. Но главная характерная особенность лессов, лессовых и лессовидных пород – высокое содержание фракции крупной пыли – более 50 %, которая является диагностической для лессовых пород и в инженерной геологии характеризуется размером частиц 0,05–0,005 мм. Позднее было предложено в почвоведении делить лессовые породы на лессы, содержащие более 50 % крупнопылевых частиц (0,05–0,01 мм), и лессовидные породы, содержащие менее 50 % этих частиц.

Проведенные исследования показали, что лессовидные породы Северного Приазовья характеризуются следующими свойствами:

– Валовой химический состав. По результатам рентгенфлуоресцентного анализа, проведенного с использованием «СПЕКТРОСКАН-GVM» (производство Россия, г. С.-Петербург), следует, что валовой химический состав лессовидных пород Северного Приазовья в среднем содержит: оксида кремния (SiO_2) от 52,90 до 57,03 %; оксида алюминия (Al_2O_3) от 9,79 до 11,18 %, оксида железа (Fe_2O_3) от 3,76 до 4,54 %; окиси титана (TiO_2) от 0,70 до 0,76 %; оксида кальция (CaO) от 7,78 до 11,26 %; оксида магния (MgO) от 2,16 до 2,49 %, оксида калия (K_2O) от 1,6 до 1,183%; оксида марганца (MnO) от 0,06 до 0,07 % и оксида фосфора (P_2O_5) в 0,11 до 0,14 %.

– Общие физические свойства. Согласно классификации Н.А. Качинского, большая часть почвообразующих пород (гор. С) черноземных почв Северного Приазовья относится к разновидности тяжелосуглинистых и легкоглинистых почв. Реже встречаются среднеглинистые. Преобладают фракции ила (<0,0001 мм) и крупной пыли (0,05–0,01 мм), реже средней/мелкой пыли (0,01–0,001 мм). Распределение этих частиц по профилю более или менее равномерное, что свидетельствует о матричной природе почвообразующих пород черноземов Северного Приазовья.

– Плотность твердой фазы варьирует от 2,75 г/см³ до 2,95 г/см³, плотность сложения составляет 1,50–1,55 г/см³ на глубине 110–150 см, общая пористость довольно высокая – от 43–49 % до 50 %. Расчеты дифференциальной пористости показали, что на долю капиллярной пористости приходится до 45–50 % от всего объема порового пространства, на долю адсорбированной влаги (гигроскопической и пленочной) – 22–23 %. Объем макропор, занимаемых воздухом (пористость аэрации) при капиллярном насыщении почвы водой, практически для всех горизонтов, составляет не ниже 20 % от общей пористости.

– Водно-физические свойства. Содержание гигроскопической влаги составляет 3,0–3,5 % (при относительной влажности воздуха 30–40 %), 6,0–6,5 % (при относительной влажности воздуха 60 %, н.у.) и 9,0–10,0 % (при относительной влажности воздуха 95–98 %).

Максимальная молекулярная влагоемкость варьирует от 14,0 % до 17,0 %, наименьшая влагоемкость – 32–35 %.

– Физико-механические свойства. По проявлению пластических свойств, классифицируются как пластичные ($I_p = 15–17$) и высокопластичные ($I_p > 17$), что позволяет, согласно ГОСТ 25100–2011, отнести исследованные породы к классу тяжелых суглинков и легких глин (с учетом гранулометрического состава). Верхний предел пластичности лежит в интервале от 30 % до 35 %, нижний предел – от 15 % до 18 %. Объемная усадка (образцы нарушенного сложения) составляет 25–30 % в зависимости от гранулометрического состава.

Проведенные нами исследования показали, что вышележащие горизонты черноземов обыкновенных карбонатных Северного Приазовья по совокупности рассмотренных свойств генетически связаны с почвообразующей породой (лессовидными суглинками и глинами), а

имеющиеся отличия обусловлены, главным образом, количественными и качественными особенностями органического вещества почвы.

УДК 631.4:631.6.02

ОСОБО ЦЕННЫЕ ПОЧВЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Назаренко О.Г.¹, Безуглова О.С.²

¹Государственный центр агрохимической службы «Ростовский»

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, lola314@mail.ru

Защита уникального почвенного покрова того или иного региона не будет эффективной без законодательной и научной основы, и именно такую роль играют региональные Красные книги почв. Причем, в каждом регионе возможны особенности, обусловленные специфичностью почвенного покрова региона, но в то же время, выработаны единые принципы составления таких справочных изданий для всей страны.

В большинстве созданных к настоящему времени региональных Красных книг почв за основу взята схема, предложенная О.В. Черновой (1995).

Во многих случаях к этим основным рубрикам добавлена еще одна, включающая пахотные почвы, достигшие высокого уровня плодородия, как это сделано, например, в Красных книгах почв Оренбургской, Белгородской, Воронежской областей.

Работа над сбором материалов и выработкой принципов создания Красной книги почв Ростовской области – региона с очень высоким уровнем сельскохозяйственной освоенности – ведется с 2015 года. В настоящее время собрана обширная база данных, намечены объекты для включения в Красную книгу почв. В том числе осуществляется подбор почв, достигших высокого уровня плодородия, и собирается доказательная база для включения их в Красную книгу почв. Законодательной основой для такой работы являются Статьи №79 Земельного кодекса РФ и №18 Областного закона от 22 июля 2003 № 19-ЗС, согласно которым в перечень особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий, использование которых для других целей не допускается, включаются земли и земельные участки высокоплодородных и окультуренных сельскохозяйственных угодий.

Работа по отбору почв, пригодных для включения в Красную книгу почв Ростовской области, проводится в ходе выполнения агроэкологического районирования земель сельскохозяйственного назначения. Для выделения земельных участков высокоплодородной пашни используются картограммы уклонов с выделением плакорных земель с уклоном меньше 2° и почвенная карта. Совмещение двух картографических основ дает возможность выделить земельные участки высокоплодородной пашни. Следует отметить, что к земельным участкам с высокоплодородной пашней, отнесены преимущественно черноземы и лугово-черноземные почвы сверхмощного, мощного и среднемощного видов при отсутствии в них негативных признаков.

Пересечение с кадастровой картой позволило составить реестр кадастровых номеров участков, которые отнесены в высокопродуктивной пашне и построить картограмму таких земель. Например, для территории Большелогского сельского поселения Аксайского района выделена территория площадью 373,8 га, почвенный покров которой представлен комплексом черноземов обыкновенных карбонатных мощных малогумусных (56%), лугово-черноземных почв карбонатных сверхмощных слабогумусированных (7%), а также черноземами обыкновенными карбонатными мощными малогумусными и черноземами обыкновенными карбонатными среднемощными слабогумусированными.

В дальнейшем эти земельные участки в соответствии с Постановлением Правительства Ростовской области от 19 июля 2017 № 507 «Об утверждении особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий, использование которых для других целей не допускается».

Будут включены такие участки и в соответствующий отдел Красной книги почв, что обеспечит высокую надежность их охранного статуса.

УДК 631.453

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПОРТИВНЫХ СОРЕВНОВАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Олексенко А.А., Гончарова Л.Ю.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail lygoncharova@sfedu.ru

Актуальность темы обусловлена тем, что проведение международных спортивных соревнований сельскохозяйственной техники "Бизон-Трек-Шоу" способствует активной деградации почвенного покрова и разрушает природный ландшафт. При движении тяжелой техники почвенный покров сдвигается, уплотняется, разрушается почвенная структура, что приводит к развитию эрозии и потере плодородия почв.

Цель работы - изучение изменения физико-химических свойств чернозема обыкновенного на территории проведения соревнований.

Объектом исследования является чернозем обыкновенный карбонатный, подвергшийся влиянию сельскохозяйственной техники на спортивных соревнованиях «Бизон-Трек Шоу» в окрестностях Ростова-на-Дону и чернозем обыкновенный карбонатный, не подвергшийся такому влиянию. На полигоне «Бизон-Трек Шоу» соревнования проводились ежегодно с 2002г., но уже 5-й год не проводятся из-за пандемии коронавируса и СВО. На соревнованиях техника устраивает гоночные заезды, а в перерывах между этапами соревнований проводятся экстремальные шоу-программы.

Как показали проведенные исследования чернозем обыкновенный карбонатный по гранулометрическому составу является тяжелой почвой, а именно тяжелосуглинистой среднепылевато-иловатой в местах, где проезжала сельскохозяйственная техника, и легкосуглинистой мелкопылевато-иловатой в местах, где техника не проезжала. Более тяжелый ГМС в почве не подвергшейся воздействию техники указывает на его более высокую противоэрозионную устойчивость.

Тяжелая по гранулометрическому составу почва, содержащая больше илистой фракции, способной к структурообразованию обладает существенной противоэрозионной стойкостью. Почва контрольного участка характеризуется более тяжелым гранулометрическим составом, чем почва полигона соревнований, что может свидетельствовать о её более высокой устойчивости к ветровой и водной эрозии.

Более легкий гранулометрический состав и менее хорошее структурное состояние почвы в почве на территории соревнований указывает на то, что из неё могли выветриваться частицы меньших фракций, что косвенно указывает на негативное влияние сельскохозяйственной техники

Установлено снижение содержания в черноземе мезоструктуры при воздействии техники, так в почве на трассе соревнований зафиксировано 42,3-54,0% мезоструктуры; а в почве незэродированного участка – 56,46-82,46%. Общая оценка структурности почвы эродированного участка оценивается как удовлетворительная; а в почве не подвергшейся воздействию техники – хорошая. Это говорит о снижении устойчивости почвы на участке соревнования к ветровой и водной эрозии по сравнению с незэродированной.

Влияния на плотность почв и их гидрологические константы не было выявлено.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о негативном влиянии соревнований сельскохозяйственной техники на чернозём обыкновенный карбонатный, так как они ухудшают показатель структурности почвы и её гранулометрический состав, что снижает эрозионную устойчивость почвы.

Разработаны следующие рекомендации по повышению устойчивости почвенного покрова полигона Бизон-Трек Шоу к эрозии: рекомендуется обеспечить сохранность и

восстановление лесных насаждений, а также укрепить овражно-балочные территории посадками древесно-кустарниковой растительности.

УДК 631.48

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЧЕРНОЗЕМАХ МИГРАЦИОННО-СЕГРЕГАЦИОННЫХ Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ

Сальник Н.В.¹, Горбов С.Н.¹, Захарихина Л.В.², Козырев Д.А.¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail salnik@sfedu.ru

²Субтропический Научный Центр Российской Академии Наук, Сочи, e-mail zlv63@yandex.ru

Редкоземельные элементы (РЗЭ) представляют собой группу из 16 элементов, которые обладают схожими химическими свойствами, что обуславливает их однотипное поведение во всех гипергенных геохимических процессах, в том числе в процессах почвообразования и процессах преобразования естественных почв. При смене условий (к примеру, окислительно-восстановительных или кислотно-основных) РЗЭ могут проявлять геохимическое фракционирование, выражающееся в увеличении содержания групп элементов или проявлений отрицательных или положительных аномалий для отдельных элементов. Данное поведение РЗЭ позволяет рассматривать их как элементы индикаторы, в том числе изменяющихся условий антропогенеза. На сегодняшний день сведения о региональных особенностях поведения РЗЭ в черноземах миграционно-сегрегационных г. Ростов-на-Дону отсутствуют.

Цель нашей работы являлась первичная оценка содержания РЗЭ в черноземах миграционно-сегрегационных и выявление особенностей фракционирования РЗЭ на фоновом уровне и в условиях антропогенного преобразования почв.

Объектами исследования выступали естественных почвы различных парково-рекреационных зон города, а также территории Ботанического сада ЮФУ, который имеет статус объекта особо охраняемой природной территории федерального значения (ООПТ) и антропогенно-преобразованные почвы, находящиеся в селитебной части города Ростов-на-Дону. Все изученные почвенные профили представлены черноземами миграционно-сегрегационными Calcic Chernozem (Pachic), сформированными на карбонатных лессовидных суглинках. Для всех исследуемых почв характерны слабо- или сильнощелочная реакция почвенного раствора, что обусловлено высоким содержанием карбонатов в почвообразующей породе на фоне повышенного содержания гуматного гумуса в верхних горизонтах. Образцы отбирали из всех генетических горизонтов заложенных полнопрофильных почвенных разрезов, включая материнскую породу.

Содержание РЗЭ в отобранных почвенных пробах определяли атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами на базе Аналитического сертификационного испытательного центра (АСИЦ) (г. Москва). Описательную статистику и анализ данных проводили с помощью пакета программ Microsoft Office 2010.

Выполнено традиционное нормирование РЗЭ относительно североамериканских сланцев с разделением их на группы легких (ЛРЗЭ), средних (СРЗЭ) и тяжелых (ТРЗЭ). Установлено характерное для почв региона поведение РЗЭ, характеризующееся их фракционированием с преобладанием группы СРЗЭ. Суммы РЗЭ имеют во всех почвах выдержанную зависимость СРЗЭ>ЛРЗЭ>ТРЗЭ. При трансформации почв от естественных почв к антропогенно-преобразованным наблюдается увеличение содержания ЛРЗЭ. Установлено проявление в почвах ООПТ и почвах парково-рекреационной зоны под древесной растительностью отрицательной европиевой аномалии (Eu*), составляющей значения 0,67. Выявлено, что для черноземов миграционно-сегрегационных характерны умеренные и высокие концентрации отдельных РЗЭ (в сравнении с кларками – средними содержаниями элементов для почв континентов), таких как церий (для ООПТ 56,4 мг/кг, для парково-рекреационной зоны 57,3

мг/кг) лантан (для ООПТ 26,4 мг/кг, для парково-рекреационной зоны 26,9 мг/кг), неодим (для з ООПТ 25,3 мг/кг, для парково-рекреационной зоны 25,1 мг/кг).

Исследование выполнено в рамках программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

УДК 631.459.01

ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО КАРБОНАТНОГО В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Скляренко А. А., Гончарова Л.Ю.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail lygoncharova@sfedu.ru

Эрозия почв – процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоев почвы и подстилающих пород талыми и дождевыми водами или ветром. Эродированность почв разных типов определяется их физико-химическими, механическими свойствами, биогенностью и другими факторами. Ботанический сад Южного федерального университета (БС ЮФУ) расположен в северо-западной части Ростова-на-Дону, в долине реки Темерник. Его площадь составляет 163 га. Черноземы обыкновенные являются основным и преобладающим типом почв почвенного покрова БС ЮФУ и занимают более 80% территории.

Проведенные исследования установили, что изучаемый тип почв по гранулометрическому составу является тяжелой почвой, а именно тяжелосуглинистой иловато-крупнопылевой, что является одним из показателей его противозерозионной устойчивости. Преобладание в генетических горизонтах чернозема мезоструктуры (52,40-83,74%) также говорит об устойчивости почв к ветровой и водной эрозии.

Смываемость почвы без учета фактора агротехники и свойств, подверженных сезонным изменениям определялся с учетом количества гумуса, содержания песка (0,1-1,0 мм), а также пыли и мелкого песка (0,1-0,001 мм). Полученный коэффициент смываемости (1,7 т/га в год) по Лопыреву, Рябиной характеризует чернозем обыкновенный как слабосмывную почву.

Почвенно-экологический индекс (ПЭИ=15,00) характеризует ландшафт как относительно устойчивый. Причиной ухудшения ПЭИ территории послужило проявление на поверхности водозерозионных процессов.

Потери гумусового слоя почвы показали, что чернозем обыкновенный является слабо эродированным, так как показатели потери находятся в пределах 5-25%.

Защищенность пашни лесными насаждениями является средней, так как составляет 72,5%.

По этой причине территория БС ЮФУ подвержена появлению ветровой эрозии.

Основным источником накопления влаги в почве на территории Ростовской области являются осадки, выпадающие в холодный период года в виде ливневых дождей, что способствует возникновению водной эрозии. Рассчитанный эрозионный потенциал дождей по Ларионову Г.А. (52,5 мм²/мин) характеризует очень сильную эрозионную опасность осадков на исследуемой территории.

Талые воды вызывают эрозию на заключительном этапе снеготаяния, когда водоотдача из снега достигает максимальных значений, а почва начинает оттаивать с поверхности.

Эрозионный потенциал талых вод определяется как произведение максимального запаса воды в снежном покрове на интенсивность снеготаяния в час. Рассчитанный эрозионный потенциал талых вод (10 мм) характеризуется как слабый.

С помощью ГИС-технологий и градации М.Н. Заславского оценили уровень эрозионной опасности почвенного покрова. Большая часть Ботанического сада ЮФУ является эрозионноопасной. Преобладают пологие, слабопокатые и сильнопокатые склоны, которые подвержены эрозионным процессам. Площадь эрозионноопасных участков Ботанического сада ЮФУ составляет 107,19 га или 65,76% от общей площади территории.

Разработаны рекомендации по повышению устойчивости почвенного покрова БС ЮФУ к эрозии: на обрабатываемых территориях – безотвальная обработка почвы, внесение органических удобрений, посев многолетних трав, вспашка полей вдоль склонов. на необрабатываемых территориях - сохранность и восстановление лесных насаждений, укрепление овражно-балочных территорий посадками древесно-кустарниковой растительностью.

УДК 631.4

РЕТРОСПЕКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ НЕДРЕНИРУЕМЫХ МЕЖДУРЕЧИЙ ЛЕСОСТЕПИ ОКСКО-ДОНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Филь П.П.¹, Юрова А.Ю.^{1,2}, Козлов Д.Н.¹, Доброхотов А.В.^{1,3}, Медведев А.А.^{4,5}

¹ФГБНУ ФИЦ "Почвенный Институт им. В.В. Докучаева, Москва, philpaulp@gmail.com;

²NIIEER, CAS, Ланьчжоу, Китай;

³ФГБНУ "Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург;

⁴Институт Географии РАН, Москва;

⁵Center for Ecological-Noosphere Studies National Academy of Sciences, Ереван, Армения.

Ландшафтное разнообразие Окско-Донской низменности представляет собой комплекс сложно функционирующих, организационно разнообразных, закономерно сменяющих друг друга плоских замедленно дренируемых междуречий, испещренных многочисленными западинами и хорошо дренируемых, расчленёнными эрозионными сетями, плакорных ландшафтов. Благодаря особенностям рельефа и функционирования западных комплексов, переводящих поверхностный сток в подземный, весной в пределах плоских междуречий формируются локальные бессточные области с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод, в таких условиях формируются лугово-черноземные и луговато-черноземные почвы. Лесостепной регион является экотон, экотоны, как элементы ландшафтного покрова, имеют множество специфических свойств. Помимо того, что в их пределах формируется уникальные структуры почвенного покрова отражающих в себе особенности различных зон. В лесостепных экотонах из года в год функционирование почв тесно связано с контрастными межсезонными и межгодовыми гидротермическими условиями. Регулируемых в холодный период года контрастностью и динамичностью запасов влаги, характером выпадения и сроками схода снежного покрова, глубиной промерзания, в теплый период – обилием и характером осадков, и интенсивностью испаряемости. В связи с чем в таких почвах формируются морфологические признаки горизонтов, отражающих не только среднемноголетний режим функционирования почв, но и признаки контрастных динамических гидротермических условий. Для обеспечения поддержки принятия технологических решений в краткосрочных и стратегических вопросах необходимы знания о пространственно-временной динамике гидрологического состояния таких почв, их водного режима, такую информацию о почвах способен обеспечить структурно-функциональный подход почвенного моделирования, объединяющий в себе картирование генетические свойств почв и подходов гидрофизического моделирования, раскрывающего особенности функционирования почв во времени пространстве.

На основании имеющихся почвенных карт, цифровой модели рельефа, и материалов дистанционного зондирования Земли, для проведения исследования был выбран участок, представляющий собой типичное испещренное западинами комплексами междуречье, расположенное в западной части низменности, в Петровского районе Тамбовской области (52.636795, 40.038358). Для расчета динамики влажности почвы, было выполнено площадное картирование ее физических и химических характеристик, с применением методов цифровой почвенной картографии. Для условий ключевого участка, кроме поступления с осадками характерно дополнительное поступление, связанное с фильтрацией в почву влаги из западин. Для идентификации этого процесса предложен алгоритм расчета объема и скорости

фильтрации, базируемый на вычислении объема воды с использованием детальной цифровой модели рельефа полученной с использованием фотограмметрической съемки беспилотным летательным аппаратом. В сочетании с использованием материалов регулярного мониторинга поверхности в видимом диапазоне субметрового разрешения, получаемых с использованием малых космических аппаратов. Детальная цифровая модель рельефа имеет разрешение 0.5 метров/пиксель, абсолютная геодезическая ошибка не превышает 0.06 м благодаря тому, что съемка выполнялась в осенний период поверхность почвы не была перекрыта посевами сельскохозяйственных культур данные не имели шумов не связанные с поверхностью почвы. Используемые материалы малых космических аппаратов имеют разрешение 3 метра/пиксель, частота пролетов спутников позволила получить информацию о состоянии поверхности земли во все безоблачные даты с 2017 по 2023 годы начиная с дат схода снежного покрова. Затем используя нейронную модель, связывающую морфометрические параметры западин и климатические условия для каждой из западин в пределах междуречья с 1965 года по 2016 был рассчитан объем поступающей дополнительной влаги, Карра= 0.87, по результатам которой была определена взаимосвязь обводненности западин с для междуречья с особенностями промерзания почвы и мощности снежного покрова, рисунок 1, Б. Затем для трех точек в пределах междуречья, представленных расположенными в западине влажнолуговой осолоделой, в межзападинном пространстве лугово-чернозёмной и в верхней части склона луговато-чернозёмных почв были соотнесены их морфологические особенности профиля с расчетными динамическими показателями запасов воды в почве по глубине, для выявления взаимосвязи цикличности застоя влаги (длительности и повторяемости анаэробных условий) с основными диагностическими признаками: обилие и размер железо-марганцевых конкреций, осредненные результаты представлены на рисунке 1, А. Расчеты были верифицированы по данным мониторинга за влажности почвы, классическим методом весной 2021 года, и материалам автоматизированного мониторинга с осени 2021 по осень 2023 года.

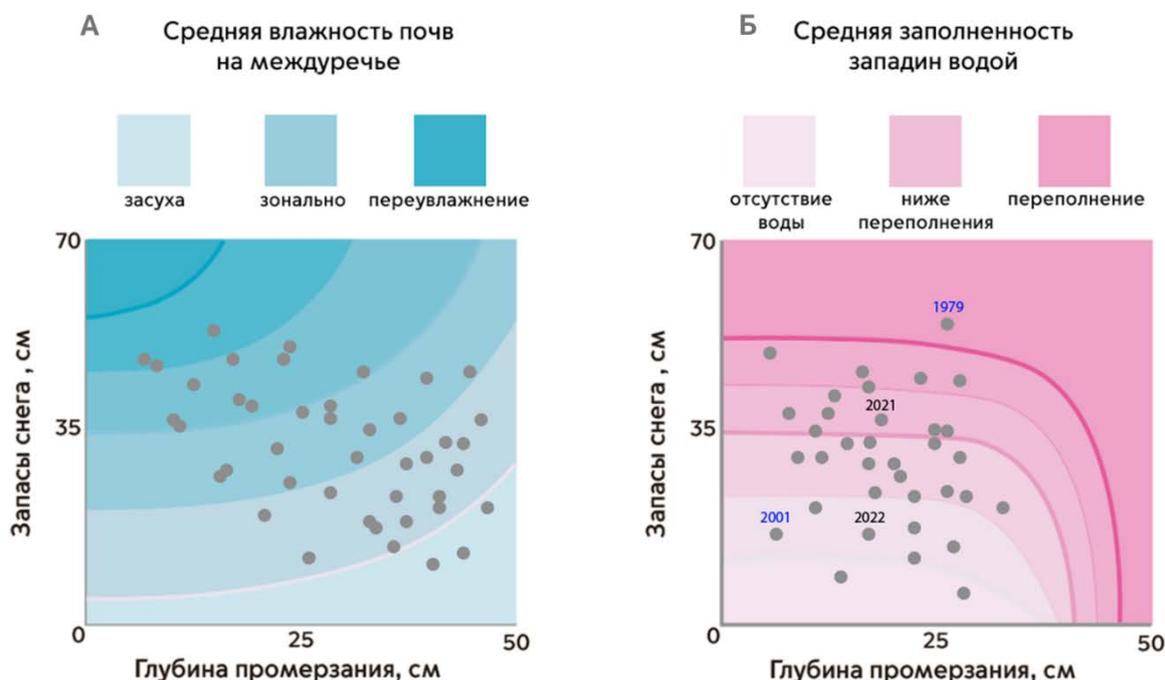


Рисунок 1. Функционирование почв и обводнения западин в ландшафтном масштабе

По результатам ретроспективного мониторинга выяснилось, что в период с 1965 по 2023 год для слоя 0-25 см для влажно луговой осолоделой почвы застойные явления случались в 86% лет, а средний максимум продолжительности за вегетационный период 90.4 дня, для лугово-

черноземной 68% лет, и 47.7 дней и луговато-черноземной 42% лет и 26 дней соответственно. На глубине 100 см для влажнолуговой осолоделой 92% лет со среднемаксимальной продолжительностью 130.9 дней, лугово-черноземной 74% лет и 61 день и Луговато-черноземной 50% лет 34.5 дней.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-77-10062 «Гидрологическая и секвестрационная функции почв западного комплекса лесостепи»).

УДК 631.481

СКОРОСТЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ – ЗНАЧИМОСТЬ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ КУРГАНОВ БРОНЗОВОГО ВЕКА В СТЕПНОМ ПРИУРАЛЬЕ)

Хохлова О.С., Мякшина Т.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, olga_004@rambler.ru

При изучении черноземов, погребенных под земляными археологическими памятниками – курганами, с целью проведения палеоклиматических реконструкций обычно рассматривается набор свойств почв и фиксируется их изменчивость в хронорядках и по сравнению со свойствами современных почв. При этом довольно часто упускается из виду, что изучаются свойства с различным временем отклика на меняющиеся климатические условия. При этом в практике проведения палеопочвенных исследований курганов в степной зоне нередко встречаются случаи, когда свойства черноземов, имеющих сравнительно быстрый (первый десяток лет) отклик на меняющиеся климатические условия, уже успели измениться, а свойства с более длительными временами (несколько десятков до сотни лет) пока остаются неизменными или их изменчивость имеет иную направленность, чем у «быстрых» свойств. Это создает определенные трудности при трактовке наблюдаемых изменений в почвах в процессе реконструкций палеоклимата. Цель данной работы – рассмотрение этой проблемы на примере изучаемого объекта.

Было проведено исследование черноземов, погребенных под курганами срубного и ямного времени в курганном могильнике (КМ) Ташла IV в Оренбургской области, степное Приуралье. Конечной целью исследования было проведение палеоклиматических реконструкций для времени сооружения курганов в бронзовом веке в изучаемом регионе. Были изучены курганы 1 и 2, расположенные на окраине с. Ташла Оренбургской области. Курган 1 (N51°47'08,70" E52°43'58,62") имел высоту 1 м, диаметр – 33-38 м, единственную конструкцию, обнесен кольцевым ровиком и был построен в развитой этап ямной культуры – 3400-3200 лет BC или XXXIV-XXXII вв. до н.э. Курган 2 (N51°47'07,56" E52°43'59,64") имел высоту 70 см, диаметр 35-36 м, кольцевой ров, углубленный не более чем на 40 см, единственную конструкцию и был построен в срубное время, XVIII – XVII вв. до н.э. Под изученными курганами были заложены почвенные разрезы, проведено их морфологическое описание. Так же были изучены современные поверхностные почвы вблизи курганов. Аналитическое исследование отобранных почвенных образцов включало определение гранулометрического состава, содержания органического углерода и карбонатов, потери при прокаливании, обменных оснований, pH водной вытяжки, магнитной восприимчивости. Классификационное положение погребенных почв: черноземы обыкновенные по классификации 1977 г. или миграционно-сегрегационные среднесуглинистые по классификации 2004 г., или *Na_{pl}c Chernozem Loamic* по WRB 2022. Современные почвы изучены на залежи (распашка прекращена более 25 л.н.) и классифицированы как черноземы обыкновенные, миграционно-сегрегационные постагрогенные среднесуглинистые, *Na_{pl}c*

Chernozem Loamic Aric. Гранулометрический состав всех изученных почв определен как средний суглинок иловато-крупнопылеватый и мало менялся по профилю. Морфологический анализ позволил отметить, что погребенные почвы по сравнению с фоновой больше окарбонаты, они уверенно вскипают с поверхности, тогда как фоновая почва примерно до глубины 40-45 см не вскипает от HCl. При этом срубная палеопочва гораздо увереннее вскипает и больше окарбоната вверху профиля, чем ямная. Карбонаты в верхнем горизонте срубной палеопочвы имеют пропиточный характер, что указывает на то, что они подтянулись снизу при резком иссушении почвенного профиля. По степени изрытости профиля, особенно верхней его части, срубная палеопочва наиболее изрыта. Также эта почва чуть меньше прокрашена гумусом по сравнению с ямной. Современные почвы изрыты в наименьшей степени, прокрашены гумусом максимально из остальных почв хроноряда в силу того, что гумус в них не подвергся биоминерализации, как при погребении. По данным аналитического изучения, палеопочвы как ямного, так и срубного времени по сравнению с современными почвами показывают меньшие величины реконструированного содержания органического углерода в гумусовом горизонте, более высоко расположенные максимумы содержания карбонатов в профиле, более щелочные значения pH водного в первом метре профиля, более высокие значения процентного содержания магния и натрия в составе обменных оснований. При этом палеопочва срубного времени обнаруживает наименьшие значения реконструированного содержания органического углерода, наиболее высоко расположенный профильный максимум содержания карбонатов, наиболее щелочные значения pH водного, наибольшее содержание обменного магния и натрия в составе обменных оснований среди почв изучаемого хроноряда и наименьшие величины магнитной восприимчивости в самых верхних слоях гумусового горизонта, 0-10 и 10-20 см. Исходя из этих данных можно заключить, что климатические условия формирования палеопочв были более аридными, чем современные, и при этом, если сравнить степень аридизации климата при формировании свойств срубной и ямной палеопочв изучаемого хроноряда, в первом случае степень аридизации была выше. Вместе с тем, обнаружено некоторое увеличение магнитной восприимчивости в самом верхнем слое 0-10 см ямной палеопочвы по сравнению с современной, указывающее на большее количество осадков при формировании первой по сравнению со второй, что не укладывается в высказанное выше заключение о более аридном климате во время формирования ямной почвы. Согласно литературным данным, изменчивость магнитной восприимчивости в автоморфных степных почвах связана с деятельностью бактерий-железоредукторов, находящиеся в гумусовом горизонте, которые реагируют на климатические изменения. В сравнительно хорошо увлажняемых атмосферными осадками почвах их деятельность протекает более выражено, что и приводит к повышению магнитной восприимчивости в сравнительно гумидные периоды. И, напротив, в аридные периоды деятельность этих бактерий угнетена. Таким образом, магнитная восприимчивость самых верхних слоев гумусовых горизонтов почв степной зоны по факту отражает микробиологическую активность, а это почвенное свойство с очень быстрым откликом (первый десяток лет) на изменившиеся климатические условия в отличие от остального набора почвенных свойств, указанных выше, которые меняются за более длительное время (несколько десятков до сотни лет).

Итак, морфогенетический анализ черноземов хроноряда КМ Ташла IV в степном Приуралье позволил установить, что (i) почвы как ямного, так и срубного курганов погребены в начале развития культур, когда заканчивался или закончились этапы усиления климатической аридизации (первая половина IV тысячелетия до н.э. и рубеж III и II тысячелетий до н.э., соответственно); (ii) свойства изученных черноземов по характерным временам их отклика на изменение внешних условий различаются: магнитная восприимчивость, связанная с микробиологической активностью, относится к быстроизменяющимся свойствам – первые десятки лет, а для изменения других изученных свойств требуется от нескольких десятков до

сотни лет; (iii) этап усиления аридизации климата в начале развития ямной культуры был менее интенсивным, чем в начале развития срубной общности в изучаемом регионе. Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 23-68-10006.

УДК 631.416.9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАЛОВОГО СОДЕРЖАНИЯ И ПОДВИЖНОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОЗЕМАХ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ РОСТОВСКОЙ И НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

Чаплыгин В.А.,¹ Черникова Н.П.,¹ Сиромля Т.И.,² Манджиева С.С.

¹Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, ЮФУ, Ростов-на-Дону, e-mail: chaplygin@sfedu.ru

²Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, e-mail: tgulkina@yandex.ru

Одной из важнейших и до сих пор нерешенных проблем экологического мониторинга является отсутствие объективных данных о фоновом содержании химических элементов в почве, в особенности в почвах, имеющих высокую агрономическую ценность, таких как черноземы. Это связано с тем, что каждый отдельно взятый тип почвы обладает своей спецификой накопления микроэлементов и их распределения по формам соединений. Региональный фактор оказывает решающую роль в формировании такой специфики, делая непохожими закономерности накопления элементов даже в почвах одного типа. Поэтому для разработки объективных критериев оценки уровней содержания поллютантов в почвах необходимы сравнительные исследования аккумуляции элементов в почвах одного типа разных регионов страны. Черноземные почвы ввиду высокой вовлеченности в сельскохозяйственную деятельность представляются приоритетными объектами для исследования содержания микроэлементов. Целью исследования было изучение накопления тяжелых металлов в фоновых черноземах степной зоны Ростовской области и лесостепной зоны Новосибирской области.

Проведены экспедиционные исследования фоновых территорий в степной зоне Ростовской области и лесостепной зоне Новосибирской области. Площадки мониторинга (10x10 м) заложены на значительном удалении от источников техногенной нагрузки и расположены на участках целины или залежи. Почвенные образцы отбирались с глубины 0-20 см (ГОСТ Р 58595-2019).

Для исследования валового содержания в почве Cu, Zn, Cr, Mn, Cd, Ni, Pb все образцы проанализированы методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре «Спектроскан МАКС-GV» (Спектрон, Россия) в соответствии с аттестованной методикой (ПНД Ф 16.1.42-04, 2010). Поскольку валовое содержание является неинформативным для оценки биодоступности металлов, изучены их подвижные соединения, удерживающие тяжелые металлы (ТМ) на поверхности почвенных частиц органическими и минеральными компонентами. Подвижные формы соединений микроэлементов в почвах извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH = 4,8 (ААБ). Содержание ТМ в экстрактах определено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС) (атомно-абсорбционный спектрометр «Квант-2Z», ООО «Кортек», Москва).

Установлены региональные биогеохимические особенности микроэлементного состава почв степной и лесостепной природных зон юга европейской части России и юго-востока Западной Сибири. Почва степной зоны фоновой территории ООПТ «Персиановская заповедная степь» представлена черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым на лёссовидном суглинке. Содержание карбонатов в слое 0-20 см не превышает 1%, физ. глины – 48%, C_{орг} 3,7%, pH=7,3. Валовое содержание микроэлементов в фоновом незагрязненном черноземе обыкновенном карбонатном составляет: Cu - 52, Zn – 72, Pb – 28, Ni – 61, Mn – 815, Cd – 0,35, Cr – 97 мг/кг (табл. 1). Концентрации ТМ в черноземе

обыкновенном карбонатном ООПТ «Персиановская заповедная степь» не превышают значений ОДК (СанПиН-1.2.3685-21).

Таблица 1. Валовое содержание и подвижные формы тяжелых металлов в фоновых черноземах Новосибирской и Ростовской области, мг/кг

Территория	Почва	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Валовое содержание								
Новосибирская область	Чернозем выщелоченный среднесуглинистый	0,29±0,02	53,7±2,1	37,2±1,1	457±21	39,7±1,4	18,6±0,5	80,2±2,5
Ростовская область	Чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый	0,35±0,04	96,5±8,1	49,1±1,4	814±56	39,0±1,2	25,3±1,0	68,5±4,3
Подвижные соединения								
Новосибирская область	Чернозем выщелоченный среднесуглинистый	0,034±0,002	0,33±0,01	0,4±0,01	68±3	0,8±0,03	1,9±0,06	6,1±0,20
Ростовская область	Чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый	0,013±0,001	1,3±0,4	1,0±0,1	22,6±1,6	0,8±0,1	0,3±0,02	2,6±0,1
ОДК		2,0	---	132,0	---	80,0	130	220
ПДК (СанПиН 1.2.3685-21)		---	6,0	3,0	140,0	4,0	6,0	23,0

Чернозем выщелоченный Новосибирской области характеризуются содержанием $S_{орг}$ 4,3%, карбонатов менее 1%, содержанием физ. глины 32% рН-6,8. В почве природного ландшафта содержание изученных микроэлементов ниже, за исключением Zn (табл. 1). При этом в Новосибирской области наблюдается более высокое содержание подвижных форм Cd, Mn, Pb и Zn по сравнению с черноземами степной зоны, в связи с региональной геохимической спецификой изученной территории и меньшей буферностью почв.

Наименьшая подвижность для черноземов степной и лесостепной зон характерна для Cr, наибольшая – для Cd в черноземе выщелоченном Pb – в черноземе обыкновенном.

Таким образом, установлено, что валовое содержание Cr, Cd, Cu, Mn и Pb в незагрязненных черноземах Ростовской области превышает концентрацию данных элементов в почвах Новосибирска. Черноземы лесостепной зоны характеризуются более высокими концентрациями подвижных форм Cd, Mn, Pb и Zn. Для чернозема обыкновенного наиболее подвижным элементом является Cd, а для чернозема выщелоченного – Pb. При этом Cr является наименее подвижным микроэлементом в почвах обоих регионов.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект No 22-77-10097) в Южном федеральном университете.

УДК 631.4

ВЫЯВЛЕНИЕ НАТИВНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ В СТАРООСВОЕННОМ РЕГИОНЕ ЛЕСОСТЕПИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИХ СВОЙСТВ

Чендев Ю.Г.¹, Геннадиев А.Н.², Дергачева М.И.³, Хохлова О.С.⁴, Смирнова М.А.²

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), Белгород, e-mail Chendev@bsu.edu.ru;

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail summerija@yandex.ru;

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, e-mail mid555@yandex.com;

⁴Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, olga_004@rambler.ru

Российское земледелие - одно из наиболее успешно функционирующих отраслей отечественной экономики; для его дальнейшего развития необходим мониторинг и своевременная корректировка качества почв, что требует информацию о параметрах исходного естественного состояния почвенного покрова. Учет и анализ нативных характеристик почв, с одной стороны, позволит с большей степенью достоверности дать оценку уровню деградации или проградации используемых в хозяйственной деятельности почв, с другой стороны, позволит углубить знания в вопросах пространственных закономерностей изменения свойств и процессов естественного почвообразования. Эти задачи особенно актуальны для черноземной зоны Европейской России, где сосредоточены наиболее ценные почвенные ресурсы и где в условиях практически тотальной антропогенной трансформации почвенного покрова существует острый дефицит эталонно-значимых (нативных) черноземов. Кроме заповедных территорий (Центрально-черноземный заповедник им. В.В. Алехина и Ямской участок заповедника «Белогорье»), автоморфные нативные черноземы должны существовать во многих других местах Центральной лесостепи в режиме «мягких» антропогенных воздействий в виде сенокошения или эпизодического выпаса домашних животных. Цель исследования заключается в поиске, выявлении и анализе генетических свойств неизвестных ранее нативных черноземов лесостепи на юге Среднерусской возвышенности. Поиск данных почв проводится в автоморфных позициях рельефа – на плакорных участках, где в наибольшей степени выражен зональный аспект почвообразования. Для поиска подходящих участков исследования использовались разновременные достоверные картографические источники, включающие планы Генерального межевания (XVIII век), а также спутниковые снимки высокого разрешения. На каждый из потенциально пригодных для исследования участков осуществлялись рекогносцировочные выезды, проводился опрос старожилов, закладывались пробные прикопки для оценки морфологических свойств верхней части профилей черноземов. Если морфологические признаки удовлетворяли представлениям о нативном облике черноземов (интенсивно темно-серая окраска верхних слоев почв, невысокая плотность сложения, преобладание в структуре зернистых агрегатов, отсутствие следов распашки), то на данном участке закладывались глубокие (0-2 метра) разрезы, проводилось морфологическое описание, отбирались образцы. В данной работе приводятся результаты изучения выявленных нативных черноземов на трех ключевых участках, их названия даны по административным районам Белгородской области в местах их расположения: Ивнянский, Прохоровский, Губкинский. Были изучены черноземы типичные мощные тяжелосуглинистые на карбонатных тяжелых лессовидных суглинках на Ивнянском и Губкинском участках, а также черноземы выщелоченные среднемощные тяжелосуглинистые на маломощном (1-1.5 метра) чехле карбонатных тяжелых лессовидных суглинков, подстилаемых рыжеватыми сильно опесчаненными и слабокарбонатными суглинками-супесями древнеаллювиального генезиса на Прохоровском участке. Гранулометрический состав почв определялся методом пипетки Качинского, коэффициенты структурности и водопрочности почвенных агрегатов определялись по методу Саввинова, углерод карбонатов определялся ацидиметрическим способом, содержание органического углерода выполнялось мокрым сжиганием по методу Тюрина. Результаты лабораторного анализа генетических признаков исследованных черноземов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Некоторые физические и химические свойства автоморфных нативных черноземов лесостепи юга Среднерусской возвышенности (средние показатели парных профилей на каждом участке).

Слой, см	Плотность, г/см ³	Фракция <0.01 мм, %	Коэффициенты		Запас, т/га	
			структурности	водопрочности	С орг.	С карб.
Участок Ивнянский, Н абс. 195 м, ГТК=1.19						
0-20	0.84	43.8	5.5	0.81	104	0
20-40	0.92	45.6	4.2	0.72	83	8
40-60	0.98	45.3	3.0	0.69	59	11
60-80	1.01	47.7	1.8	0.65	42	22
80-100	1.07	48.5	1.2	0.63	31	29
100-120	1.15	46.5	0.9	0.55	19	35
120-140	1.25	49.7	0.7	0.44	8	39
140-160	1.35	47.7	не опр.	не опр.	6	34
160-180	1.39	51.6	не опр.	не опр.	12	32
180-200	1.42	52.5	не опр.	не опр.	9	33
Участок Прохоровский, Н абс. 240 м, ГТК=1.15						
0-20	0.97	47.2	6.8	0.49	74	0
20-40	1.09	49.1	4.6	0.43	68	0
40-60	1.15	50.1	3.1	0.32	44	0
60-80	1.19	51.1	2.5	0.32	28	10
80-100	1.21	52.3	1.1	0.46	13	32
100-120	1.36	45.4	0.5	0.42	8	21
120-140	1.41	38.8	0.7	0.36	5	14
140-160	1.44	35.8	не опр.	не опр.	4	6
160-180	1.45	16.5	не опр.	не опр.	3	3
180-200	1.45	17.7	не опр.	не опр.	1	5
Участок Губкинский, Н абс. 235 м, ГТК=1.12						
0-20	0.81	41.5	10.4	0.41	89	0
20-40	0.87	44.7	4.5	0.38	70	0
40-60	0.93	52.1	4.4	0.34	56	0
60-80	0.99	50.7	3.2	0.34	42	0
80-100	1.08	55.1	3.0	0.34	33	0
100-120	1.17	56.9	1.3	0.35	27	5
120-140	1.24	58.7	0.5	0.28	21	33
140-160	1.31	60.7	не опр.	не опр.	14	52
160-180	1.37	60.2	не опр.	не опр.	9	59
180-200	1.45	55.7	не опр.	не опр.	15	61

По результатам проведенных исследований было установлено, что на изучаемой территории в зональных позициях лугово-степного почвообразования распространены нативные тяжелосуглинистые черноземы с отличным качеством агрономической структуры и отличным или хорошим качеством водопрочной структуры агрегатов. Запасы С орг в метровой толще почв варьируют от 227 до 319 т/га, что эквивалентно запасам гумуса 400-550 т/га. Запасы углерода карбонатов в 2-метровой толще изученных почв находятся в пределах 91-243 т/га. Общие запасы органического и неорганического углерода в 2-метровой толще почв составляют 340-370 т/га. Исследования в указанном направлении будут продолжены по

мере обнаружения новых ключевых участков для уточнения и повышения репрезентативности полученных результатов.

(О) РАБОЧАЯ ГРУППА ПО МЕРЗЛОТНЫМ ПОЧВАМ

УДК631.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША И АЛГОРИТМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЧВ НА ЮЖНОЙ ГРАНИЦЕ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Бадмаев Н.Б.^{1,2}

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Сахьяновой, 6, Улан-Удэ*

²Бурятская Государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, Пушкина, 8, Улан-Удэ nima_b@mail.ru

Почвенный покров представлен как система объектов, расположенных в n-мерном экологическом гиперпространстве, осями которого выступают факторы почвообразования (Бадмаев, 2008). Экологическая ниша типа почв определяется его реакцией на факторы (почвообразования) гиперпространства. Каждый тип почвы может формироваться лишь внутри определенной амплитуды значений каждого фактора. Крайние значения определяют тот объем многомерного пространства, который и может быть определен как экологическая ниша типа почвы.

Для выявления “скрытых” количественных и качественных показателей факторов почвообразования создается картографическая информация (КИ). КИ, созданная, для каждого фактора почвообразования – ранжируется, в результате которого образуется многомерное признаковое пространство. На каждый выделенный почвенный контур на уровне типа накладывается КИ факторов почвообразования, рассчитываются вероятность и частота встречаемости типа почв с отдельными факторами почвообразования и их ранговыми значениями. В конечном итоге каждый тип почв имеет только ему присущие количественные и качественные параметры, которые характеризуют его экологическую нишу в этом многомерном признаковом пространстве факторов почвообразования (рис. 1А). На основе выявленных параметров экологических ниш почв Еравнинской котловины Витимского плоскогорья в многомерном признаковом пространстве системы «почва-факторы почвообразования (среда)» и с использованием подхода «теза – антитеза», а также картографической модели с распознаванием почвенных таксонов, создана многоступенчатая информационно-распознающая система (ИРС) для факторной диагностики почв Ундино-Даинской котловины Восточного Забайкалья. Процесс пространственного распознавания почв проводится последовательно с применением иерархического принципа, начиная от высших таксонов почвенной номенклатуры: ствол – отдел – тип (рис. 1Б).

Для начала процедуры последовательной многоступенчатой ИРС необходимо иметь топографическую и геоботаническую карты рассматриваемой территории М 1:200 000, где представлены характеристики рельефа (высота, крутизна, экспозиция и фация) и типы растительности. Топографическая карта представлена с левой стороны ИРС, второй, третий и четвертый столбцы занимают таксономические единицы почв. На каждой ступени, исходя из заданных дихотомических таблиц последовательно выделяются контура отдельных стволов, отделов и в конечном итоге типов почв, что показывается на карте рассматриваемой территории и указываются в тезах и антитезах.

Информационно-картометрический подход, разработанный для оценки разнообразия почв криолитозоны Забайкалья, является универсальным инструментом для описания, обобщения, упорядочения и формализации имеющегося картографического материала по почвам. Дальнейшее углубление этого направления откроет широкие перспективы для систематического количественного анализа связей в системе «почва-среда», изучения структурной организации почвенного покрова, его экологии и географии.

Работа выполнена при поддержке бюджетного финансирования по темам НИР: № 121030100228-4 ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН

Таблица 4.1.
Алгоритм многоступенчатой информационно-распознающей системы для факторной диагностики почв Ундино-Даинской котловины (УДК) Восточного Забайкалья



А

Степень *	Ствол	Отдел	Тип	Определитель почв (ИРС)	Индекс таксона
I.	1. Пост-литогенные			1. Почвы формируются на выветриваемых территориях 2 + Почвы формируются в поймах 6	IIII
II.	1. Пост-литогенные			1. Обессенные 3 + Необессенные 5	IIIII
III.		1. Альфегумусовые	ПБ	3. Хвойные ПБ + Лиственные 4	IIII
IV.		2. Органиоаккумулятивные	Д	4. Березово-лиственные леса на элювиальных отложениях легкого гранюстава Д + Березово-лиственные сринковые леса на делювиальных отложениях тяжелого гранюстава ПТ	IIII
V.		3. Аккумулятивно-гумусовые	ЧП	5. Почвы формируются под степными сообществами ЧП	IIIII
VI.	2. Син-литогенные			6. Почвы формируются на повышенных элементах центральной поймы 7 + Почвы формируются на пониженных частях и депрессиях 8	IIIIII
VII.		4. Аллювиальные	АС АТ	7. Под злаковыми лугами АС + Под луговыми сообществами АТ	IIIIII
VIII.			АТГ	8. Под осокново-вейниковыми переувлажненными лугами и сринками с осокново-пушистыми в сочетании с осокново-хвошчевыми АТГ	IIIIII

* - фрагмент почвенной карты Ундино-Даинской котловины

Б

Рис.1. Алгоритм определения экологических ниш типов почв (А) и принципы их пространственного распознавания (Б)

УДК 631.413.2

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СОРБЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ КРИОГЕНЕЗА

Гололобова А.Г.

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, nuta0687@mail.ru

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, nuta0687@mail.ru

Поскольку температура атмосферы периодически меняется в зависимости от сезона, почва в регионах вечной мерзлоты неизбежно будет подвергаться периодическому процессу заморзания-оттаивания. Поверхностные горизонты почв испытывают более 100 циклов заморзания-оттаивания в течение года. Если профиль почвы переувлажнен во время циклического промерзания, то выделение кристаллов льда меняет исходную почвенную структуру. При этом исходное устойчивое состояние почвенных частиц изменяется за счет агрегации и фрагментации, что приводит к изменению гранулометрического состава. Изменение морфологического строения горизонтов и их гранулометрического состава могут привести к дальнейшим трансформациям всего профиля, обостряя экологические проблемы. Изменение размера и формы частиц помимо изменения деформационных и прочностных характеристик почв, приводит к изменению ее сорбционной способности.

Среди экологических функций почв способность сорбировать загрязнения – одна из важнейших. Механизмов связывания тяжелых металлов в профиле почвы многообразны и меняются в зависимости от гранулометрического состава.

Сорбционная способность почвенного материала определяет устойчивость почв к химическому загрязнению. Чем выше сорбционная способность, тем ниже устойчивость почв к химическому загрязнению. При этом каждый генетический горизонт обладает своей сорбционной способностью, а, следовательно, и различной степенью устойчивости к химическому загрязнению, что очень важно при прогнозировании развития процессов деградации почвенного покрова.

Цель данной работы – изучить связь гранулометрического состава мерзлотных почв с трансформацией почвенных геоэкологических функций в условиях процесса многократного замерзания-оттаивания. Объект исследования – почвы Далдыно-Алакитского алмазоносного района.

На территории Далдыно-Алакитского алмазоносного района распространены криоземы глееватые, криоземы типичные, криоземы палево-метаморфизованные, криоаридные криотурбированные, палевые криотурбированные и аллювиальные темногумусовые. Доминирующими типами почв территории исследования являются криоземы.

Корреляционный анализ позволил выделить группу элементов, имеющих значимую корреляцию с гранулометрическими фракциями криоземов:

1,0 - 0,25 мм (крупный и средний песок): $Cu_{-0,6*} > Cr_{-0,4}$

0,25 - 0,05 мм (мелкий песок): $Mn_{0,5}$

0,05 - 0,01 мм (крупная пыль): $Cr_{0,6*} > Pb_{0,4}; Mn, Co_{-0,4}$

0,01 - 0,005 мм (средняя пыль): $Cr_{0,6*} > Pb, Zn, Cu_{0,4}$

0,005 - 0,001 мм (мелкая пыль): $Zn_{0,7*} > Ni, Cr, Cu_{0,6*} > Pb, As_{0,4}$

<0,001 мм (илистая): $Cd, Cr, Cu_{0,6} > Pb, As_{0,5} > Ni_{0,4}$

* Показаны коэффициенты корреляции, значимые при уровне $P < 0,05$. Знак минус перед цифрой обозначает отрицательную связь.

Установлена положительная корреляция Mn только с фракцией мелкого песка; Cr и Pb – с фракцией крупной пыли, а во фракции средней пыли происходит также накопление подвижных форм Zn и Cu. Далее по мере уменьшения размеров гранулометрических фракций группа элементов расширяется: во фракции мелкой пыли прибавляется Ni и As, а во фракции ила – Cd.

С увеличением доли крупного и среднего песка уменьшается содержание подвижных форм Cu и Cr. Концентрация Mn и Co увеличивается с уменьшением содержания крупной пыли. В целом, видно, что уменьшение фракций гранулометрического состава приводит к увеличению количества поглощенных микроэлементов и тяжелых металлов и к усилению прочности их закрепления в тонкодисперсных фракциях. Фракции средней пыли поглощают и удерживают наибольшее количество микроэлементов. Минкина Т.М. (2011) в своей работе также отмечает, что поглощение металлов почвами и прочность их закрепления на поверхности почвенных частиц уменьшается с уменьшением доли высокодисперсных фракций в гранулометрическом составе почвы.

По степени устойчивости исследуемые типы мерзлотных почв можно расположить в следующей последовательности: криоземы глееватые > криоземы типичные > криоземы палево-метаморфизованные > криоаридные криотурбированные > палевые криотурбированные > аллювиальные темногумусовые.

Полевые исследовательские работы выполнены в рамках проекта госзадания Минобрнауки РФ FUGG-2024-0007 «Мантйный магматизм, эволюция литосферы и рудоносность восточной части Сибирской платформы, геоэкология недропользования». Химико-аналитические работы, обобщение и интерпретация всего материала выполнены по проекту РНФ в рамках научного проекта №23-77-10046 «Роль криогенеза в формировании микроморфологических признаков почв и отложений».

УДК 631.4(210.5)(268.45)

ПОЧВЫ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ
Денева С.В., Елсаков В.В.

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail denewa@rambler.ru

Арктические побережья уязвимы к последствиям изменения климата, включая повышение уровня моря и потерю вечной мерзлоты, морского льда и ледников. В связи с изменением

климата и деятельностью человека, на береговую зону оказывается огромное давление, которое растёт с каждым годом, из-за чего площадь береговых экосистем за последние 50 лет сократилась на 25-50%. Формирование почв на пограничной территории «суша-море» является причиной их высокой чувствительности к внешним воздействиям (природным и антропогенным), и в результате – к высокой динамичности береговых геосистем, поэтому изучение многофакторности при влиянии на развитие почвенного покрова в прибрежной зоне является первоочередным.

Региональные особенности морских берегов, рельеф, амфибиальный водно-воздушный режим, концентрация солей создают высокую пространственную вариабельность почв. Актуальность изучения почвенного покрова арктических прибрежных ландшафтов возрастает в связи с интенсивной эксплуатацией недр, транспортировкой сырья, а также вследствие глобальных климатических перестроек.

Исследования проводились в окрестностях четырех нефтяных месторождений, относящихся к группе месторождений вала Сорокина. Они расположены в пределах Ненецкого автономного округа Архангельской области на Медыньском полуострове, в прибрежной части Баренцева моря, на разном расстоянии от кромки морской воды.

Почвы районов Арктики и Субарктики формируются в особых климатических условиях полярной области с замедленными био- и геохимическими процессами, характерным слабым развитием почвенного процесса. В Арктическом поясе преобладает физическое (морозное) выветривание, отмечается накопление слабо разлагающегося органического вещества, встречается ожелезнение, господствует физическое выветривание. На развитие арктических почв оказывает влияние мерзлота, регулирующая интенсивность выветривания, водный и температурный режимы почв.

На Первом месторождении распространены морские террасы нижнего уровня, здесь встречаются песчаные пляжи, дюны, морские песчаные наносы. Для территории Второго месторождения характерны средние марши, Третье месторождение располагается в пределах бугорковатых тундр приморских низменностей. Площадки Четвертого месторождения находятся в зоне субарктических (типичных) тундр.

В прибрежной части Баренцева моря распространены маршевые почвы, Профиль маршевых почв представляет собой, как правило, случайную последовательность, созданную геологическими процессами слоев, которые лишь в той или иной степени изменены почвообразованием. Для них характерно наличие мерзлых горизонтов, длительная поемность, ярко выраженный гидроморфизм, который существенно затрудняют гумификацию растительных остатков, обнаруживаемых практически во всех горизонтах и даже на значительной глубине почвенного профиля. Маршевые почвы *наследуют от наилков гранулометрический, петрографический и биолитный состав. На небольшом расстоянии (до 70 м) от кромки морской воды откладывается в основном песчаный и супесчаный аллювий ((Первое нефтяное месторождение). По мере удаления от береговой линии отложение наносов становится менее значительно, в наилке увеличивается количество илистой фракции, а формирующиеся маршевые почвы характеризуются более тяжелым (средне- и тяжелосуглинистым) гранулометрическим составом (Второе нефтяное месторождение).*

В бугорковатых тундрах приморских низменностей на Третьем нефтяном месторождении, в условиях близкого залегания границы многолетне-мерзлых пород (ММП) в почвах доминируют признаки оглеения, торфонакопления и криотурбаций.

Субарктические тундры, в пределах которых располагается Четвертое нефтяное месторождение, занимают крайнюю северную полосу материковой суши, контактирующую с приморскими низменностями. Главной составляющей криогенного массообмена в почвах тундр являются криотурбации и их наиболее яркое проявление – пятнообразование.

Пятнообразование активно идет в условиях полигональных тундр с почвенным покровом, состоящим из торфяно-глееземов. На водораздельных поверхностях преобладают участки с

полугидроморфными и гидроморфными условиями почвообразования, что связано с краткостью и низкой теплообеспеченностью летнего периода, а также близким залеганием высокольдистых многолетнемерзлых пород.

Прослеженные изменения содержания солей в исследуемых почвах объясняются геоморфологическим строением территории.

На основании водных вытяжек маршевых почв можно сделать вывод, что они являются засоленными. Тип засоления преимущественно сульфатно-хлоридный. Наибольшее засоление наблюдается в верхних гумусово-аккумулятивных или органогенных горизонтах, что вызвано регулярным затоплением морскими водами, а также импульверизацией морскими солями. В береговых наносов крупнозернистого песка, засоление несколько уменьшается. При некоторой защищенности берега от волнобоя развиваются торфяные разности маршевых почв, не имеющие значимых морфологических отличий профилей. Величины актуальной кислотности маршевых почв приближены к нейтральным значениям в верхних горизонтах, и заметно снижаются в горизонте C^z . Основными ионами, участвующими в засолении являются Cl^- , SO_4^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , количество которых максимально в верхних органогенных горизонтах и снижается в минеральной части, содержание SO_4^{2+} снова возрастает в надмерзлотной толще исследуемых профилей. Уровень SO_4^{2+} в почве прямо коррелирует с изменением pH. В составе обменных оснований преобладает магний. На удаленных от побережья участках (Третье и Четвертое месторождения) почвы, вступившие в стадию постгидроморфного почвообразования, характеризуются кислой и слабокислой реакцией и сравнительно высоким содержанием гумуса в минеральных горизонтах, связанного с его потечным характером и криотурбациями. Для них характерно более низкое содержание ионов SO_4^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , подвижных форм фосфора и калия, концентрация обменного кальция, напротив, заметно выше.

На примере почв буферной зоны четырех нефтяных месторождений показано разнообразие прибрежных маршевых и зональных почв, дана первичная характеристика морфологических и физико-химических свойств. Дифференциация почв по степени засоленности, кислотности, гранулометрическому составу во многом определяется удаленностью от моря.

Однако, до сих пор остается открытым вопрос о классификации прибрежных почв, который необходимо решить с учетом возросшего в настоящее время интереса к проблемам изменения климата, ключевым экологическим проблемам в сфере охраны окружающей среды от возрастающего техногенного воздействия, а также к сложным многокомпонентным объектам, которым является арктическое побережье, и соответственно, почвы, формирующиеся на нем, где специфическая совокупность почвенных физических, химических и биологических процессов протекает под влиянием близости моря, отрицательных температур, и мерзлота выступает в качестве одного из факторов почвообразования.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 122040600023-8.

УДК: 630.43:631.43.432:553.1(571.56-191.2)

ПОСЛЕПОЖАРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОЧВ НА ЛЕГКИХ ПОРОДАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Десяткин А.Р.^{1,2}, Филиппов Н.В.¹, Десяткин Р.В.¹

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail:

desyatkinar@rambler.ru

²Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН

В работе представлены данные по изменению гидротермического режима почв лиственничных и сосновых лесов, произрастающих на легких породах Лено-Вилуйского междуречья и нарушенных под влиянием сильных и разрушительных лесных пожаров в 2021 году. Для изучения воздействия пожаров на почвы были выбраны две точки внутри соснового и лиственничного леса, на участках наиболее пострадавших от пожаров. На

каждом участке выделялись контрольный и горелый участки, измерения проводились в 2022-2023 гг. Лиственничник контрольный представлен мерзлотным подзолом иллювиально-железистым (Albic Podzol (Arenic, Gelic)), лиственничная гари - подзолом иллювиально-железистым постпирогенным криотурбированным (pyrogenic Albic Podzol (Arenic, Gelic, Turbic)). Почва соснового леса- мерзлотная боровая слабоподзоленная поверхностно-турбированная почва (Albic Arenosol (Gelic, Protosodic, Turbic)), послепожарного сосняка - мерзлотная боровая слабоподзоленная постпирогенная (pyrogenic Arenosol (Gelic, Protosodic, Turbic)). Анализ температурных данных почв выявил, что пожары в лесах, сформированных на песчаных почвах, оказывают долгосрочное воздействие на гидротермический режим деятельного слоя и верхней части мерзлоты по мере углубления деятельного слоя и повышения температуры почв в течение всего периода с положительными среднесуточными температурами. В районе исследования в первый год после пожара значительно повышается температура почв горелых участков по сравнению с контролем как в сосняках, так и в лиственничниках. В зависимости от климатических данных в почвах лиственничного леса разница температур почв на контроле и гари минимальна. В сосновых лесах амплитуда температур больше, чем в лиственничных лесах. Глубина протаивания почв на легких грунтах особенно сильно подвержена воздействию пожаров. После уничтожения леса огнем, вследствие разрушения растительности и органического слоя увеличивается инсоляция, уменьшается альбедо и увеличивается теплопроводность почв. Таяние верхних слоев многолетнемерзлых пород приводят к накоплению надмерзлотной верховодки в почвах и меняют водный режим затронутых пожарами и прилегающих к ним территорий. Не тронутые огнем почвы соснового леса к осени 2022 года оттаяли до 230 см, а во второй послепожарный год (2023) уже до 300 см. На гари этот показатель к осени достигает более 350-400 см. Влажность почвы в общем ниже, чем в почвах лиственничных лесов. В первый год после пожара на точке гари и контроля наблюдается почти одинаковая влажность почв (3-7%) в верхней части профиля. Во второй послепожарный год контрольная точка имеет заметно высокую влажность почв. В это же время на гари в верхних 70-80 см горизонте влажность составляет всего 1-3%. Над мерзлотой и грунтовыми водами влажность увеличивается до 20%. В почвах лиственничных лесов в 2022 году, максимальные глубины достигали 180 см, на гари глубина протаивания увеличивается до 230 см. На 2023 год происходит некоторое уменьшение глубины протаивания до 170 и 210 см на контроле и гари, соответственно. В первый год после пожаров в лиственничниках с глубиной протаивания значительно увеличивается влажность почв. При этом нижние горизонты полностью насыщаются водой, образуя грунтовые воды, которые зимой могут не промерзнуть на глубинах 170-190 см и остаться в талом состоянии до следующего года. В первый год после пожара наблюдается значительная разница во влажности почвы между гарью и контролем. Во второй год после пожаров в контрольном лиственничнике наблюдается уменьшение протаивания почвы до 170 см. В июне, в верхней части почвенного профиля влажность на контроле достигает почти 20%, тогда как на гари из-за испарения снижается до 7-10%. В сентябре из-за осадков происходит синхронное увеличение влажности верхнего 10 см горизонта до 12-18%. Ниже, в минеральной части, влажность горелого участка выше контрольной на 5-10%. Видно, что в горелых лесах увеличенный уровень грунтовых вод является следствием вытаивания влаги, замороженной в мерзлоте. В первый послепожарный год (2022) грунтовые воды на гари выше, чем в 2023 году. На контрольном не горелом участке в сентябре 2023 года исчезает надмерзлотная верховодка, тогда как на гари вода присутствует уже с глубины 130 см достигая 210 см. В сосновых лесах уровень грунтовых вод залегает ниже, чем в лиственничнике. В первый год (2022) в середине лета уровень на контроле и гари одинаковый, несмотря на разницу в протайке. Но осенью из-за увеличения глубины профиля и недостаточной начальной влажности почв, уровень грунтовых вод на гари значительно снижается. В 2023 году в сосновой гари к осени наблюдается увеличение глубины протаивания, что влечет

уменьшение уровня грунтовых вод ниже уровня 2022 года. Таким образом, если почва протаяла до 400-500 см, то вся влага из-за низкой удерживающей способности песков смещается вниз к поверхности водоупорного горизонта – мерзлоте.

УДК 631.46

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СУПРАГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПОЧВОПОДОБНЫХ ТЕЛ НА ЛЕДНИКАХ ЗЕМЛИ ФРАНЦА-ИОСИФА И ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Добрянский А.С.¹, Никитин Д.А.^{1,2}, Лысак Л.В.³, Мергелов Н.С.¹, Долгих А.В.¹, Зазовская Э.П.^{1,4}, Горячкин С.В.¹

¹Институт географии РАН, Москва, e-mail: dobriansky@gmail.com

²Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

⁴University of Georgia, Athens, GA, USA

Потепление климата в Арктике происходит гораздо быстрее по сравнению с другими регионами мира. Это приводит к таянию мерзлотных пород и супрагляциальных тел, где содержится значительное количество потенциально минерализуемого органического вещества (ОВ). Однако пока имеется крайне мало информации об их микробиоме – основном агенте трансформации ОВ и биогеохимических циклов. Наибольшей биологической активностью среди супрагляциальных тел обладают криокониты – скопления темного мелкодисперсного минерального материала с органическими включениями. Часть исследователей полагают, что анализ криоконитов позволит получить ценную информацию о первичном почвообразовании и процессах интенсификации таяния ледников. Обычно супрагляциальные тела расположены в полярных или высокогорных регионах, которые мы рассмотрели в данной работе.

Цель работы – сравнительная характеристика микробиома почв и супрагляциальных почвоподобных тел Высокой Арктики и полярных высокогорий.

Объекты исследования – почвы и супрагляциальные почвоподобные тела на арктическом архипелаге Земля Франца-Иосифа (ЗФИ, о.Александры и о.Джексона) и Полярном Урале (ПУ, ледник ИГАН).

Углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) оценивали методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) с помощью газоанализатора LI-850. Базальное дыхание (БД) определяли так же, как СИД, только вместо раствора глюкозы в почву добавляли дистиллированную воду.

Структуру биомассы прокариот и грибов характеризовали методом люминесцентной микроскопии с набором флуоресцентных красителей на световом микроскопе «Биомед 5 ПР ЛЮМ» с блоком PS-2 (Биомед). Тотальную ДНК выделяли из 0.25 г образцов почвы с использованием набора DNeasy PowerSoil ProKit (Qiagen, Германия) и гомогенизатора Precellys 24 (Bertin Technologies, Франция) при скорости 6500 об./мин в течение 40 с.

Количественную оценку содержания рибосомальных генов микроорганизмов осуществляли методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени на амплификаторе Real-Time CFX96 Touch (Bio-Rad).

БД образцов ЗФИ изменялось от 0.12 до 13.59 мкг $\text{CO}_2\text{-C}/\text{г}/\text{час}$, а для ПУ – в 2.9 раз меньше – от 0.06 до 4.71 мкг $\text{CO}_2\text{-C}/\text{г}/\text{час}$. Микробная биомасса по СИД для ЗФИ варьировала от 256 до 6045 мкг $\text{C}/\text{г}$ субстрата, а для ПУ в 3.2 раза ниже – от 143 до 1899 мкг $\text{CO}_2\text{-C}/\text{г}/\text{час}$. На основании результатов БД и СИД рассчитан метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2 = \text{БД}/\text{СИД}$). Значения $q\text{CO}_2$ для ЗФИ составляли от 0.42 до 4.28, а для ПУ – от 0.36 до 4.18. Биомасса грибов ЗФИ варьировала от 0.020 до 0.883 мг/г субстрата, а на ПУ в 2.7 раза меньше – от 0.041 до 0.323 мг/г субстрата. Длина мицелия в объектах ЗФИ изменялась от 5.95 до 459.71 м/г субстрата, а для ПУ в 3.8 раз меньше – от 6.33 до 120.23 м/г субстрата. Численность прокариот ЗФИ составляла от 1.5×10^9 до 13.5×10^9 клеток/г субстрата, а ПУ – от 1.0×10^9 до 8.0×10^9 клеток/г субстрата. Длина актиномицетного мицелия изменялась от 10 до 50 м/г. Для

образцов ЗФИ численность рибосомальных генов 16S рРНК архей варьировала от 1.15×10^6 до 6.80×10^{10} копий генов/г почвы; 16S рРНК бактерий – от 2.77×10^6 до 8.35×10^{10} копий генов/г субстрата; ITS рРНК грибов – от 4.62×10^4 до 2.96×10^{10} копий генов/г субстрата. Для ПУ численность рибосомальных генов 16S рРНК архей варьировала от 2.15×10^5 до 8.86×10^9 копий генов/г субстрата; 16S рРНК бактерий – от 7.56×10^6 до 2.30×10^{10} копий генов/г субстрата; ITS рРНК грибов – от 2.21×10^4 до 3.32×10^8 копий генов/г субстрата. Численность микромицетов в ЗФИ составляла от 5.0×10^2 до 4.2×10^3 КОЕ/г субстрата, выделено 35 видов из 26 родов из 3 отделов, доминантами среди которых выступали *Goffeauzyma gilvescens*, *Geomyces pannorum*, *Huophozyma variabilis* и *Thelebolus microsporus*. Численность микромицетов в ПУ была на 2 порядка больше – от 1.0×10^1 до 1.5×10^4 КОЕ/г субстрата, было выделено в 1.6 раз меньшее разнообразие: 22 вида микромицета из 17 родов и 2 отделов доминантами среди которых выступали *Geomyces pannorum*, *Geomyces vinaceus* и *Teberdinia hygrophila*. Численность культивируемых сапротрофных бактерий в образцах ПУ варьировала от 2×10^5 до 5×10^6 /г субстрата, доминировали представители родов *Arthrobacter* и *Bacillus*. Таким образом, биологическая активность ЗФИ в разы выше, чем ПУ, несмотря на гораздо более южное расположение последнего. Предполагаем, что негативное влияние ледников на микробиоту оказывает большее значение, чем широтная зональность. Большее количество генетического материала грибов на ПУ, чем на ЗФИ предполагает доминирование микобиоты по сравнению с прокариот в наиболее экстремальных экосистемах. Численность и биомасса микроорганизмов ниже на периферии, чем в самой супрагляциальной зоне. Все параметры биологической активности ЗФИ и ПУ резко снижались вниз по профилям, однако в надмерзлотном горизонте отмечалось повышение биомассы прокариот, грибов, БД и СИД, что может быть связано с накоплением органики и вымыванием клеток микроорганизмов на границу многолетнемерзлых пород (эффект ретинизации). Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-17-00212.

УДК 631.445.11:551.435.5(571.56-17)

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ КРИОГЕННЫХ ФОРМ МИКРОРЕЛЬЕФА НА СЕВЕРЕ ЯКУТИИ
Иванова А.З.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, madalexia@mail.ru

Почвы севера Якутии развиваются в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. При этом арктический морской климат обуславливает холодное короткое лето, которое не позволяет почвам оттаивать достаточно глубоко, и как следствие этого деятельный слой почвы имеет гораздо меньшую мощность, чем в Центральной Якутии с большими перепадами годовых температур. Территория Колымской аккумулятивной низменности в пределах бассейнов р. Алазея и р. Колымы, где проводились основные исследования, сложена четвертичными отложениями (русловым, лайдовым и озерным отложениями) средне- и позднеплейстоценового возраста, мощностью до нескольких десятков метров. Современные поймы и дельты рек сформированы речным аллювием. Основными рельефообразующими и формирующими почвообразующие породы процессами территории являются термокарст, пучение, солифлюкция, морозное растрескивание. Особенностью почвообразования изученной территории выступает дифференциация структуры почвенного покрова в зависимости от выраженности форм криогенного микрорельефа. То есть распространение криогенных форм микрорельефа придает пестроту почвенному покрову и обуславливают комплексный характер его пространственной структуры при небольшом разнообразии почвообразующих пород. На севере широкое распространение имеют полигонально-валиковые (или валико-вогнутополигональные) тундры. Это сеть чаще всего прямоугольных полигонов, переувлажненных или заполненных водой, разделенных выпуклыми валиками, формирующимися над морозобойными

трещинами по краям полигонов. Полугидроморфные почвы валиков представлены кислыми мерзлотными торфяно-глееземами и перегнойно-торфянистыми глееземами, встречающимися в комплексе с мерзлотными торфяными глеевыми почвами микроразнообразий (полигонов). Такие почвы формируются при сочетании относительного иссушения самого валика и обводненности окружающих участков. Валик в таких условиях выполняет функцию задержания поверхностных и надмерзлотных вод. В нижней минеральной части почвы валика часто встречаются погребенные фрагменты торфяного слоя. Такая морфологическая особенность связана с тем, что при формировании валика поверхность деформируется, как бы выдавливая минеральные массы через трещины поверх ранее сформированных здесь органогенных слоев, при этом процесс сопровождается разрывом подстилки и мерзлотным перемешиванием. Также на территории исследования не менее распространены чуть более сухие трещиноватые тундры с крупными выпуклыми полигонами диаметром до 20 м. Поверхность полигонов неровная, местами вспученная (мелкие бугры от 0,5 до 2 м диаметром), с мелкими трещинами. Здесь формируются слабокислые криоземы грубогумусовые глееватые суглинистые с маломощным органогенным горизонтом и слабыми признаками оглеения. В вытянутой западине были описаны мерзлотные перегнойно-глеевые почвы с признаками более интенсивного органонакопления и оглеения. На повышенных плоских и слабонаклоненных пространствах часто встречаются пятнистые тундры с излившимися почвами пятен, полностью лишенных растительности или с небольшой накипью лишайников. Размеры пятен небольшие, до 1 м. В трещинах между пятнами почва представлена слабодифференцированным криоземом грубогумусовым. Оглеение в таких почвах встречается редко, а уровень протаивания максимальный по сравнению с другими зональными почвами, что связано с небольшой мощностью органогенного слоя. Южнее, где тундровые пространства сменяются лесотундровыми, и далее северотаежными, под листовенничными редколесьями формируется бугристо-западинный микрорельеф, обусловленный эмбриональным проявлением таяния грунтовых льдов. Бугорки имеют неправильную, но близкую к округлой форму, диаметром до 0,8-2 м, и разделены трещинами-западинами. На вершине бугра формируется криозем грубогумусовый неоглеенный, а в понижении – криозем перегнойно-торфянистый глееватый. Из-за защитной функции леса почвы здесь характеризуются неглубокой протайкой и менее чувствительны к потеплению климата, чем почвы безлесных пространств. Но вырубка, пожары или избыточное переувлажнение могут быстро привести к активизации криодеградационных процессов.

УДК 631.44

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ В ПРЕДГОРНЫХ РАВНИНАХ СУБАРКТИКИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Каверин Д.А., Пастухов А.В.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, dkav@mail.ru

В субарктических экосистемах, наиболее уязвимых к климатическим изменениям, температурное состояние почв и подстилающих пород является ключевым индикатором современных климатических и ландшафтных изменений. Мерзлотные почвы и многолетнемерзлые породы играют огромную роль в глобальном потеплении и, вместе с тем, являются ключевым компонентом арктических геосистем, особо чувствительным к климатическим изменениям. При этом глубина сезонного протаивания – одна из главных характеристик состояния почв и подстилающих пород криолитозоны. Биоклиматические и ландшафтные особенности территории определяют температурный режим многолетнемерзлых пород и глубину сезонного протаивания почв. Сезоннотальный слой играет важную роль в холодных регионах, основные экологические, гидрологические, биохимические и почвенные процессы протекают в этом слое. Исследования

пространственных закономерностей дифференциации глубины сезонного протаивания необходимы для понимания и проецирования отклика мерзлотных почв с учетом подстилающих многолетнемерзлых пород на климатические изменения.

Выполнен географический анализ пространственной дифференциации почвенного покрова субарктических предгорных ландшафтов крайнего Северо-Востока европейской России. Исследования проводили в пределах предгорных (цокольных) равнин, граничащих с Уральской горной страной. Пространственный анализ условий почвообразования проведен с учетом биоклиматической и геокриологической зональности, литологической специфики предгорных субарктических ландшафтов. Исследования проведены в районах, охватывающих территорию подзон типичной и южной тундры, лесотундры и крайнесеверной тайги со сплошным и несплошным распространением многолетнемерзлых пород. Геоинформационный анализ структуры почвенного покрова позволил выделить географические закономерности распространения основных типов почв, дифференцированных по глубине залегания кровли многолетнемерзлых пород.

При исследовании почвенного покрова ландшафтов цокольной равнины апробированы классификационные критерии, выделяющие мелкомерзлотные, и среднеглубинные мерзлотные, глубокомерзлотные и немерзлотные (сезоннопромерзающие) почвы. При географическом анализе структуры почвенного покрова на региональном уровне свою эффективность показало разделение групп почв на мерзлотные почвы с близким залеганием многолетнемерзлой кровли, сезоннопромерзающие почвы с заглубленным залеганием многолетнемерзлой кровли и сезоннопромерзающие почвы на талых почвогрунтах.

Проанализированы и сопоставлены закономерности пространственных изменений почвенного покрова при смене биоклиматических и геокриологических условий на границе «тундра-лес» в условиях несплошного распространения многолетнемерзлых пород. Классификационные критерии, учитывающие различную глубину залегания кровли многолетнемерзлых пород, позволяют эффективно анализировать изменения структуры почвенного покрова с учетом геокриологической и биоклиматической зональности в региональной криолитозоне. При исследовании почвенного покрова отдельных районов цокольной равнины эффективно применимы классификационные критерии, выделяющие мелкомерзлотные (< 1 м) и среднеглубинные (1-2 м) мерзлотные почвы. Выделение ареалов глубокомерзлотных почв (2-3 м) возможно при наличии технических возможностей исследований.

Мелкомерзлотные почвы широко распространены в северной части криолитозоны, развиваясь на различных типах почвообразующих пород. В несплошной криолитозоне их формирование определяется преимущественно присутствием гидроморфных ландшафтов. Среднеглубинные мерзлотные почвы широко развиты в северной части криолитозоны (ММП ≥ 90 %) на минеральных почвообразующих породах. Глубокомерзлотные почвы распространены в массивно-островной криолитозоне лесотундры на безлесных дренированных участках.

При анализе почвенного покрова предгорных равнин на региональном уровне целесообразно выделять три группы профилей: 1. Мерзлотные почвы с близким (< 2 м) залеганием кровли ММП; 2. Сезоннопромерзающие почвы с заглубленным залеганием кровли ММП (> 2 м); 3. Сезоннопромерзающие почвы на талых почвообразующих породах. Широтная смена геокриологических (от прерывистого к островному распространению ММП) и биоклиматических (от тундровых к лесным экосистемам) условий сопровождается значительными изменениями в структуре почвенного покрова. На севере лесотундры наблюдается резкое снижение доли мерзлотных почв с близким залеганием (< 2 м) кровли многолетнемерзлых пород, на юге – с заглубленным (> 2 м). Литология четвертичных пород оказывает влияние на почвообразование во всем регионе, в особенности в северной части криолитозоны. По мере продвижения к югу все большее влияние на структуру почвенного покрова начинает оказывать растительность.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФ 24-27-00056 т «Уязвимость многолетнемерзлых торфяников в результате строительства линейных объектов в условиях современного климатического потепления в Арктике: оценка экономических и необратимых природных рисков».

УДК 631.436

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ КРИОЛИТОЗОНЫ К РАЗЛИЧНЫМ ДЕСТРУКТИВНЫМ ФАКТОРАМ

Лигаева Н.А.¹, Пономарёва Т.В.^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск;

²Институт леса им. В.Н. Сукачева - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск e-mail: naligaeva@mail.ru, bashkova_t@mail.ru

Основные положения проблемы оценки техногенных воздействий и их последствий на почвенный покров и ландшафты в целом, могут быть сформулированы с учетом имеющихся общетеоретических разработок и опыта экологических исследований в осваиваемых районах криолитозоны.

Целью исследования явилась актуализация сведений по изученности устойчивости почв криолитозоны к различным деструктивным факторам.

Исследования криолитозоны показали наличие техногенного воздействия (физического, теплового, химического, пирогенного) на ландшафтную структуру. По охвату территории эти нарушения являются: точечными, линейными, линейно-площадными и площадными.

Нарушенные почвогрунты, лишенные растительного покрова и верхнего органогенного горизонта почвы, характеризуются низкой противозерозионной устойчивостью и легко подвергаются воздействию разрушительных процессов. Физические нарушения уничтожают органогенные горизонты, выводят на поверхность малоплодородные и токсичные грунты, активизируют эрозионные и другие деструктивные процессы.

Наибольшие механические нарушения почвенно-растительного покрова происходят на местах горных выработок и строительства инженерных сооружений.

Причинами активизации деструктивных процессов (эрозии, термоэрозии, солифлюкции, быстрые сплывы) являются, с одной стороны, изменения противозерозионной стойкости и водно-тепловых условий почвенно-растительного покрова в результате его механического разрушения, обводнения и осушения и, с другой стороны, резкое изменение условий формирования поверхностного и внутрипочвенного стока вследствие уничтожения микрорельефа и появления дополнительных источников стока. Часто эти изменения способствуют резкой активизации деструктивных процессов на склонах не только на нарушенных площадях, но и далеко за их пределами.

Высокая льдистость почв и грунтов, наличие различных форм подземного льда при механических нарушениях поверхности и изменении теплового режима способствуют более активному проявлению таких процессов, как термокарст, солифлюкция (сползание грунта по склонам), пучение.

Таблица

Зависимость степени нарушенности почв и растительности от источника загрязнения

Источник влияния	Степень нарушенности
горно-добывающая промышленность	макро-антропогенно -трансформированные – полностью удален или уничтожен почвенный и растительный покров
Объекты нефтедобывающей и газоконденсатной промышленности	мезоантропогенно трансформированные – удаленный растительный покров, нарушенный или загрязненный почвенный покров,

	микроантропогенно трансформированные – ненарушенный почвенный и частично нарушенный или загрязненный растительный покров.
Аэро-техногенный фактор	мезоантропогенно трансформированные - нарушенный растительный покров, минерализация и химическое загрязнение почвенного покрова. микроантропогенно трансформированные – ненарушенный почвенный и частично нарушенный или загрязненный растительный покров.

Изучение экологического состояния почв криолитозоны Красноярского края в зоне техногенного влияния «ГМК «Норильский никель», на основе результатов дистанционных исследований, позволили выявить увеличение площади нарушенной подстилающей поверхности. Выявленные закономерности обладают определённой устойчивостью во времени. По значениям аномалий спектральных признаков подстилающей поверхности, вычисляемых как относительные отклонения значений вегетационного индекса (NDVI_i) и температуры подстилающей поверхности (LST_i) проведена классификация ландшафтов, трансформированных под воздействием природных или техногенных деструктивных факторов. На основе полученных данных можно оценить динамику ландшафтной структуры на исследуемой территории. Сопряженно с дистанционными исследованиями проводимые исследования теплового потока в почвах криолитозоны Красноярского края, позволяют выявить глубину и характер деструктивных изменений почвенного профиля криогенных почв с возможностью дальнейшего прогноза восстановительной динамики. Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, <https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки.

УДК 551.345:631.445

ОСОБЕННОСТИ МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ, ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАТАГАЙСКОЙ ТЕРМОДЕНУДАЦИОННОЙ КОТЛОВИНЫ

А.В. Лупачев^{1*}, П.П. Данилов²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2/2, Россия

²Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. профессора Д.Д. Саввинова, СВФУ им. М.К. Аммосова, 677007, РС(Я), Якутск, просп. Ленина, 43, Россия

*Автор для контакта: a.lupachev@gmail.com

Батагайский разрез многолетнемерзлых пород (ММП) на севере Якутии вскрыт в одной из крупнейших термоденудационных котловин в мире: размеры приблизительно 1х2 км, протяженность основной стенки обнажения более 1,6 км. Здесь представлена стратиграфическая последовательность мерзлых отложений мощностью более 80 м, охватывающая, по оценкам различных методов исследований, интервал от 250 до 600-700 тыс. лет.

Анализ современной литературы, посвященной разрезу «Батагай», выявил практически полное отсутствие исследований, посвященных проблемам плейстоценового почвообразования на территории Янского плоскогорья. Основной задачей исследования стало обобщение палеопочвенных и микроморфологических данных об историческом развитии основных компонентов позднечетвертичной природной среды в районе обнажения «Батагай».

Термоденудационная котловина «Батагай» (67.58° с.ш., 134.77° в.д.), расположенная в 10 км к юго-востоку от пос. Батагай, Саха (Якутия), начала формироваться из серии

термоэрозионных оврагов в конце 60-х годов прошлого века с постепенным увеличением темпов деградации, достижения ширины 840 м и общей площади более 70 га к 2015 году. Далее, темпы отступления стенок обнажения несколько замедлились и в настоящее время максимальная ширина – около 1 км. В 2020 году пробурены опорные скважины, произведен полный отбор керн ММП и подземного льда. По образцам из двух скважин (1-20, глубиной около 70 м и 3-20, глубиной около 35 м) выполнен ряд аналитических работ и микроморфологических исследований. Погребенные почвы и почвоподобные тела изучались как в ходе полевых работ 2023 года на отдельных доступных участках мерзлых стенок обнажения котловины «Батагай», так и в микроморфологических препаратах, отобранных на наиболее соответствующих им по глубинам интервалах кернов скважин 1-20 и 3-20 – всего около 40 шлифов. Изучение микростроения почв проводилось с помощью оптического микроскопа Axioscope A1 с камерой Axioscam MR5 (Германия).

Обобщение полученных данных о строении и свойствах отложений разреза «Батагай» позволило сделать некоторые предположения о характере природной обстановки в наиболее благоприятные для развития почвенно-растительного покрова эпохи.

Первый интервал приурочен к нижней части разреза (глубина 66-70 м), к отложениям нижнего ледового комплекса (предположительно возраста МИС 7) и маркирован в стенке палеопочвой, по строению наиболее близкой к современным торфяно-глееземам. Обилие грубых растительных остатков, их слоистое залегание, четкий контакт между органогенными прослоями и подстилающими минеральными отложениями, а также интенсивное оглеение минеральной части палеопочв и высокая льдистость (атакситовая, линзовидная и сетчатая криотекстуры) позволяют предположить, что в период формирования этой части толщи, поверхность здесь была сильно заболочена, между систем ПЖЛ формировались обводненные внутриполигональные ванны с мощным (в отдельных случаях, вероятно, субаквальным) торфяным покровом. В обогащенных органическим материалом линзах, слагающих верхние горизонты палеопочвы, наблюдаются крупные растительные остатки, ткани мхов и осок, веточки кустарников, плохо разложившиеся, с редкими признаками накопления оксидов железа и признаками обугливания торфа. Детрит рыхло упакованный, криогенно дезинтегрированный, с большим объемом пор. Накопление пылевато-глинистого материала (иногда с признаками слоистого залегания) характерно для поверхностей относительно хорошо сохранившихся корневых ходов.

Второй, наиболее ярко морфологически и физико-химически выраженный интервал глубин относится к субгоризонтальному прослою эпигенной (сформированной при отсутствии или при относительно слабой выраженности синлитогенного поступления осадочного материала) погребенной почвы (возраста МИС 5e), залегающему в центральной части толщи разреза (38-43 м). Морфологическое строение профиля обнаруживает крайне высокое сходство со строением современных торфяно-подбуров, развитых в районе исследований, а процессы миграции альфегумусовых соединений здесь выражены ярче, в виде охристой прокраски минеральных горизонтов, подстилающих органо-минеральные. В микроморфологическом строении материала диагностируются четко оформленные комковато-плитчатые и ооидные агрегаты, хорошо сохранившиеся углистые частицы и корневые ходы, поровое пространство имеет ясные границы. Минеральные частицы имеют тонкие светло-коричневые пленки оксидов железа, некоторые слабоокатанные зерна минералов содержат сгустки темноокрашенной органики на поверхности. Присутствует оптически неориентированная глина, участвующая в образовании сложных микроагрегатов. Преобладание слабоокатанного материала указывает на близость источника его формирования и поступления. В материале ассоциированных с палеопочвой палеотермоэрозионных врезов обнаружены крупные остатки кустарниковой и древесной растительности, а также фрагменты бересты, что указывает на существование здесь в МИС 5e экологических условий близких к современным.

Материал почвенного профиля и покровного слоя ММП, генетически связан с подстилающими отложениями, обладает схожими физико-химическими свойствами, но в определенной мере более преобразован педогенными процессами. На глубинах 120-135, 170 и 210 см обнаружены горизонты, окрашенные в относительно более темные и холодные тона и содержащие множественные темноокрашенные мелкие (2-3 мм) концентрические пятна сульфидов, предположительно пирита, и указывающие на анаэробные условия. Подобные горизонты ранее диагностировали внутри и на подошве покровного слоя ММП в обнажениях на Колымской низменности. Вероятно, и в данном случае, эти небольшие по мощности горизонты могут выступать маркерами мощности деятельного слоя в различные периоды голоцена.

Полученные палеоэкологические данные позволили подтвердить два относительно теплых и продолжительных климатических периода формирования развитого почвенно-растительного покрова, зафиксированных в строении отложений разреза “Батагай”. Первый этап соответствует формированию отложений нижнего ледового комплекса МИС 7е (230-250 тыс. л.) и маркирован палеопочвой, по строению наиболее близкой к современным торфяно-глееземам. Ко второму этапу приурочен обширный субгоризонтальный прослой эпигенной, погребенной почвы (близкий аналог современного торфяно-подбура), залегающий в центральной части толщи разреза (МИС 5е (110-130 тыс. л.)).

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00242, <https://rscf.ru/project/23-27-00242/>.

УДК 551.342

КРИОГЕНЕЗ СКАЛЬНЫХ ПОРОД ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Мельников А.Е. Романис Т.В.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, MelnikowDron@mail.ru

Исследование морфологии образцов скальных пород в условиях циклического замораживания-оттаивания под оптическим поляризационным микроскопом выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №23-77-10046.

Природная среда в пределах криосферы развивается под влиянием криогенеза – совокупности процессов, связанных с фазовым переходом воды при переходе температуры через 0 °С. Криогенез ярко проявляется в изменении строения и физических характеристик скальных пород, активизируя физическое выветривание и способствуя образованию горизонта почвообразующих пород. Это, в свою очередь, влияет на разнообразие генетических горизонтов почв, определяет разнообразие почвенного покрова. Для большинства типов крупнообломочных скальных пород в лабораторных условиях установлены основные закономерности изменений физических и деформационно-прочностных характеристик по мере увеличения количества циклов промерзания-протаивания. В то же время, данные об изменениях скальных пород под влиянием криогенеза на минералогическом уровне, включая микроморфологические изменения их поверхности и химическое преобразование, для территории Южной Якутии весьма ограничены. Нами был проведен комплекс работ по исследованию роли криогенеза при выветривании магматических и метаморфических горных пород Южной Якутии.

На основании натурных и лабораторных исследований скальных пород с использованием методов растровой электронной микроскопии, рентгеновской 3D-томографии, петрографо-минералогического и микроморфологического методов анализа, получены количественные данные об интенсивности криогенеза гранитов и гнейсов.

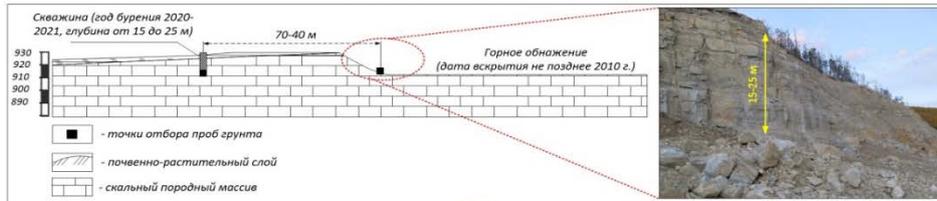
В основу исследования интенсивности криогенного выветривания скальных пород положено сравнение характеристик образцов из стенок карьера и кернов скважин, пройденных в нескольких десятках метрах от карьера (Рис. 1). Скважины пробурены в 2020-2021 гг., дата вскрытия карьеров – не позднее 2010 г. Таким образом, имелись «свежие» образцы скальной

породы из скважин и «выветрелые» образцы с поверхностями горных выработок из одних и тех же геологических слоев, которые сравнивались между собой.

Свежие образцы из кернов после предварительного исследования комплексом аналитических методов (Рис. 1) дополнительно подвергались многократному замораживанию и оттаиванию. В общей сложности образцы прошли 1000 циклов низкотемпературного воздействия (с переходом через 0°C), что соответствует 8-10-летнему сроку их выветривания на поверхности горного обнажения в природных условиях Южной Якутии.

В результате выполненных исследований установлено, что рост трещиноватости горных пород в приповерхностной части скального массива за 10-летний период времени составляет 16-20 %, а вертикальные элементы рельефа, представленные гранитами и гнейсами, отступают со скоростью 3-4 мм в год. По результатам лабораторных экспериментов скорость отступления вертикальных элементов за счет криогенеза составляет всего 0,1-0,2 мм/год. В то же время изменений в химическом и минеральном составе данных типов пород за данный период времени не происходит ни в лабораторных экспериментах, ни в естественных условиях. Таким образом, несмотря на доминирование криогенеза, его влияние на выветривание горных пород и поступление мелкозема в качестве почвообразующего материала не так велико, если не учитывать дополнительные факторы.

СХЕМА ОТБОРА ПРОБ ГРУНТА



ПОДГОТОВКА ПРОБ ГРУНТА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ОБРАЗЦЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ИЗ КЕРНА СВАЖИНЫ И ОБРАЗЦЫ КУБИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ИЗ ОБЛОМКОВ ГОРНЫХ ПОРОД НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ



ЛАБОРАТОРНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

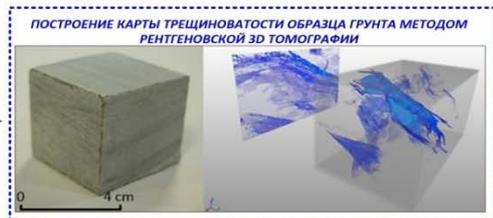
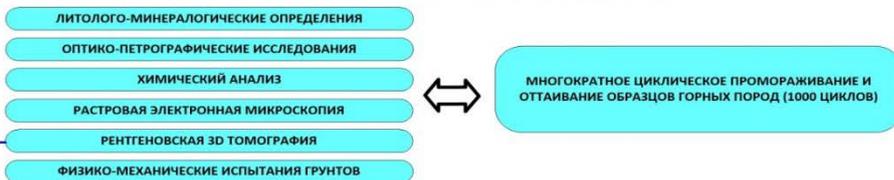


Рисунок 1. Структура лабораторных испытаний скальных грунтов для оценки происходящих в них изменений при криогенезе

УДК 631.432.2:581.4:633.2.031(571.56-12)

ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВ И НАДЗЕМНАЯ ФИТОМАССА ДОМИНИРУЮЩИХ РАСТЕНИЙ АЛАСНЫХ ЛУГОВ ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Николаева М.Х.¹, Десяткин А.Р.^{1,2}

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail:

mayan34@yandex.ru;

²Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: desyatkinar@rambler.ru

Многолетние стационарные исследования режима влажности почв и надземной фитомассы доминирующих растений аласных лугов проводились на базе модельного аласа ИБПК СО РАН в 1988–2015, 2019–2021 гг., расположенного в 50 км восточнее г. Якутска на поверхности Тюнгулюнской террасы р. Лены. Алас Ынах представляет собой термокарстовую котловину овальной формы, вытянутой с востока на запад. Длина лугового пространства 240 м, ширина 150 м. Общая площадь аласа равна 11,7 гектаров. Произведен корреляционный анализ запасов влаги в почве и надземной фитомассы доминирующих растений по годам с применением коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при $p < 0.05$). Корреляционный анализ выполнен в программе PAST Ver. 4.0. Погодные условия в течение вегетационных сезонов с 1988 по 2021 гг. имели существенные колебания. Так, во влажные годы количество осадков за май – сентябрь составляло от 163 до 256 мм, при этом средняя температура воздуха за сезон колебалась от 11,9 до 13,4°C. В экстремально сухие годы за сезон выпадало всего 68 и 89 мм осадков (2001 и 2002, 2020 гг. соответственно). В засушливые годы количество осадков составило 103 – 155 мм, при температурных показателях – 11,9 – 14,8°C. По агрометеорологическим условиям летние периоды 15 лет относятся к влажным сезонам (1988, 1989, 1993, 1994, 1996, 1997, 1999, 2003, 2005 – 2007, 2011, 2013, 2014, 2016), 18 – к засушливым (1990 – 1992, 1995, 1998, 2000 – 2002, 2004, 2008 – 2010, 2012, 2015, 2017-2021). Структура растительного покрова аласа складывается сменой разнотипных фитоценозов по мере удаления от озера к периферии аласа в зависимости от изменений микроклиматических условий местообитаний и имеет строение вложенных друг в друга концентрических поясов неправильной формы. В пределах пояса недостаточного увлажнения на остепненных почвах распространены остепненные (асс.: *Artemisia commutatae* – *Hordeetum*) луга. *Artemisia commutata* относится к доминирующим видам остепненных лугов. При этом доля надземной фитомассы колебалась от 0.17 до 55.0 % от всей надземной фитомассы остепненных лугов. Минимум фитомассы составил 0.06 ц/га в влажный 2011 г., максимум 4.36 ц/га в сухой 2005 г. Надземная фитомасса *Artemisia commutata* в июле имеет положительные связи с запасами влаги 0-20, 0-50 см в середине мая в почве под остепненным лугом. Доля *Carex duriuscula* составляла от 0.31 до 24.91 % от всей надземной фитомассы остепненных лугов. Минимум фитомассы составил 0.03 ц/га во влажный 2014 г., максимум 2.63 ц/га в сухой 2010 г. Надземная фитомасса *Carex duriuscula* в июле имеет положительную взаимосвязь с температурой мая ($p=0.73$), запасами влаги 0-100 см в июне ($p=0.62$). На дерново-луговых полугидроморфных почвах распространены фитоценозы настоящих (асс.: *Puccinellietum hauptianae*) лугов, состоящих из *Puccinellia hauptiana* на 16.68 – 96.83 %. На настоящих лугах минимум фитомассы составил 0.22 ц/га во влажный 1988 г., максимум фитомассы 34.5 ц/га в сухой 1990 г. Надземная фитомасса *Puccinellia hauptiana* в августе положительно коррелирует с запасами влаги 0-20 см в середине июня. Доля *Knorringia sibirica* варьировала от 0.08 до 48.34 % от надземной фитомассы настоящих лугов. Минимум фитомассы составил 0.02 ц/га во влажный 2003 г., максимум 4.25 ц/га во влажный 1993 г. Установлены положительные связи надземной фитомассы *Knorringia sibirica* в июле с запасами влаги в слое 0-70 см ($p=0.55$) в июле. Исследование было выполнено в рамках выполнения государственного задания № 0297-2021-0026, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190036-6 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

УДК 631.417.2

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Оконешникова М.В.

Исследовано гумусное состояние мерзлотных лугово-черноземных почв, характерных для большей части территории долины средней Лены в пределах низких надпойменных террас с более или менее пологим рельефом. Почвообразующими породами являются аллювиальные супеси и пески. Известно, что незасоленные и слабозасоленные разновидности мерзлотных лугово-черноземных почв по совокупности агропроизводственных свойств относятся к серии плодородных почв Центральной Якутии, пригодных для всех районированных культур и в комплексе с мерзлотными черноземами занимают 17% площади всех пашен. К настоящему времени состав гумуса лугово-черноземных почв долины р. Лены слабо изучен. Сравнение состава гумуса целинной лугово-черноземной почвы с аналогичными данными почв Забайкалья показало близкие значения и закономерности распределения основных групп и фракций гумусовых кислот по почвенному профилю. Это фульватно-гуматный и редко гуматный тип гумуса в верхнем гумусовом горизонте и очень фульватный в нижних минеральных, преобладание во фракционном составе гуминовых кислот фракции ГК-2 связанной с Ca^{2+} . Основное отличие лугово-черноземных почв Центральной Якутии заключается в меньшей мощности гумусово-аккумулятивного горизонта (5-7 см), обусловленной более сильным влиянием криогенеза.

В качестве объектов исследований выбраны мерзлотные лугово-черноземные почвы, развитые на первой надпойменной террасе р. Лены, в 50 км южнее г. Якутска. Пахотный вариант почвы был изучен на участке учебно-производственного хозяйства «Карпатцы» Октемского филиала Арктического государственного агротехнологического университета, который в последние 20 лет используется под картофель и овощные на фоне орошения и применения органических удобрений в дозе 60 т/га свежего навоза один раз в 5 лет. Морфологическое строение профиля: Апах. (0 – 26 см) – АВ (26 – 38 см) – В (38 - 56 см) – ВС (56 - 100 см). Сумма солей в пахотном слое составляет 0,3%, в нижележащих горизонтах 0,2-0,1%.

Поскольку характеристика почв до их освоения отсутствует, для сравнительного анализа гумусного состояния был выбран прилегающий целинный аналог в менее подверженном пастбищному влиянию участке разнотравно-злакового остепненного луга. Расстояние между участками пашни и целины не превышает 300 м. Морфологическое строение профиля: Ad (0 - 2 см) – Аса (2 - 7 см) – АВса (7 - 22 см) – В (22 - 56 см) – ВС (56 - 100 см).

По агроклиматическому районированию Центральной Якутии изученные участки входят в умеренно-теплый засушливый район среднеспелых культур с суммой активных температур 1400-1500° и модулем увлажнения менее 0,25.

Пахотная лугово-черноземная почва характеризуется средним содержанием гумуса в пахотном слое (5,3%) и его резко убывающим по профилю распределением. Высокая степень гумификации органического вещества в верхней части профиля (31,0-33,8%) становится слабой в нижней части (13,6-15,7%), а гуматный и фульватно-гуматный состав гумуса становится очень фульватным. Гуминовые кислоты присутствуют во всем деятельном слое, основную их часть в верхней части профиля формируют связанные фракции ГК-2 и ГК-3, в средней части ГК-1 и ГК-2 и в нижнем надмерзлотном слое ГК-2. Фульвокислоты представлены всеми фракциями с тенденцией преимущественного накопления в пахотном слое подвижной фракции ФК-1, в нижележащих минеральных горизонтах повышается содержание связанных фракций ФК-2 и ФК-3. Что касается различий группового состава гумуса пахотной лугово-черноземной почвы от целинной, то наибольшее различие выявлено при количественном сопоставлении величины $\text{Сгк}:\text{Сфк}$ в верхних горизонтах: в пахотном слое отношение $\text{Сгк}:\text{Сфк}$ составляет в среднем 1,49, т.е. по сравнению со средним значением припахиваемых горизонтов А и АВ целинной лугово-черноземной почвы ($\text{Сгк}:\text{Сфк}$ 1,28) отношение $\text{Сгк}:\text{Сфк}$ изменилось в сторону гуматности, но эти колебания не выходят за пределы градации фульватно-гуматного типа гумуса и имеют форму тенденции.

Во фракционном составе выявлено некоторое снижение только в содержании связанных с Ca^{2+} гуминовых кислот (ГК-2) от высокого (в 68% от суммы ГК) в целинной лугово-черноземной почве до среднего содержания (54% от суммы ГК) в пахотной, что согласуется с практическим постоянством величин рН, обменных катионов кальция и натрия. Степень гумификации органического вещества повысилась от среднего уровня в гор. А и АВ целинной почвы (26,8-24,4%) до высокого в пахотном слое (33,8-31,0%), вероятно, в результате изменения гидротермического режима на фоне орошения по типу черноземов степной зоны, когда неустойчивый характер увлажнения создает наиболее благоприятные условия микробиологической деятельности (на общем фоне биологической активности существуют периоды депрессии при высыхании почвы) и способствует формированию высокогумусных почв с большим содержанием гуминовых кислот. Установлено, что правильно выбранный режим орошения пресными водами р. Лены и систематическое применение органических удобрений способствовали сохранению фульватно-гуматного типа гумуса с тенденцией к улучшению в сторону гуматности пахотной лугово-черноземной почвы. Это позволяет сделать вывод о том, в условиях общего недостаточного увлажнения Центральной Якутии орошение на фоне периодического внесения удобрений благоприятно влияет на степень гумификации органического вещества почв.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке базового проекта FWRS-2021-0026 (номер гос.регистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190036-6).

УДК 633.2.03

СПЕЦИФИКА МЕРЗЛОТНЫХ АЛАСОВ И ПРИЕМЫ КОРЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ТРАВСТОЕВ В УВЕЛИЧЕНИИ КОРМОВОЙ БАЗЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ): УРОЖАЙ, ЭНЭРГЕТИЧЕСКАЯ И КОРМОВАЯ ЦЕННОСТЬ

Павлова С.А.^{1,3}, Будажапов Л.В.², Пестерева Е.С.³

¹Арктический государственный агротехнологический университет, ³Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова Якутск, e-mail: sachayana@mail.ru

²Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Улан-Удэ, e-mail: nitrolu@mail.ru

³Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, Якутск, e-mail: Lena79pestereva@mail.ru

Специфика функционирования мерзлотных аласов во времени и пространстве отражает ярко выраженные отрицательные понижения рельефа с массивом скудного природного травостоя на типичных мерзлотных почвах. Агротехнологические приемы в виде коренного улучшения позволяют изменить их облик и путем внедрения научно-технологических практик получать устойчивые урожаи многолетних трав как резерв увеличения кормовой базы с достаточно высоким уровнем маржинальности и конкурентности.

Мерзлотные аласы представляют собой отрицательные формы мезорельефа, обычно с озером, занятые болотной, луговой и остепненной растительностью, возникшие в результате деградации ледового комплекса четвертичных отклонений и связанных с нею оседаний вмещающих пород. Одним из наиболее характерных районов распространения аласов является северная половина междуречья Лены и Амги. Почва представлена дерново-луговой мерзлотной почвой, которая характеризовалась нейтральной реакцией среды, высоким содержанием общего азота 0.32 %, средней обеспеченностью подвижным фосфором (P_2O_5) и обменным калием (K_2O) при содержании гумуса 4.31 %.

Приемы коренного улучшения аласных мерзлотных массивов являются одним из резервов повышения продуктивности природных травостоев и в этом понимании агротехнологическая реализация этих мероприятий при повсеместном доминировании этих мерзлотных контуров

обеспечивают существенное наполнение кормовой базы высококачественными кормами. Принципиальная реализация этих приемов включала глубокую вспашку, дискование в два следа вдоль и поперек, предпосевную обработку, культивацию с боронованием, до и послепосевное прикатывание. Природный травостой на мерзлотных аласах представлен типичными злаковыми и злаково-бобовыми многолетними травами, насыщение которых под приемами коренного улучшения предполагает посев пырейника сибирского, костреца безостого, люцерны серповидной.

В многолетнем мониторинге изменения видового разнообразия травостоя и урожая моно- и двухкомпонентного злакового травостоя под влиянием приемов коренного их улучшения на мерзлотных аласах выявлены общие и частные особенности. Скучный и бедный состав природного травостоя в видовом представительстве характеризовался значимо низким урожаем и по выборочной средней не превышал 10.3 ц / га. Урожай злакового травостоя в монокомпонентном составе подтвердил достоверно высокий урожай каждого в сравнении с природным вариантом (контроль), величина которого в среднем соответственно достигала 38.8 и 26.5 ц/га. При насыщении травостоя парной схемой подсева трав, урожай возрастал существенно, достигая в среднем 40.8 ц / га. В насыщенном бобово-злаковом травостое статистический анализ урожая в моно- (люцерна серповидная), пара- (люцерна + пырейник сибирский) и трехкомпонентной комбинации (люцерна + кострец безостый + пырейник сибирский) отражал достоверно больший урожай в сравнении с контролем 25.3, 36.0 и 39.7 ц/га. Урожай бобово-злакового травостоя в парной и поликомпонентной комбинации трав достоверно превышал урожай монокультуры люцерны (контроль). В совокупной оценке урожая многолетних трав в моно-, пара- и трехкомпонентном сочетании бобово-злакового состава можно констатировать позитивность приемов коренного улучшения на мерзлотных аласах, которая выразилась в благоприятном насыщении скудного природного травостоя. Биоэнергетический статус одно- и двухкомпонентного многолетнего злакового травостоя складывался выше природного (контроль) и характеризовался низкими значениями валовой и обменной энергии при слабой энергоёмкости с высоким энергетическим коэффициентом производства кормов и незначительных затратах совокупной энергии и дефицитом переваримого протеина.

Существенное повышение энергетического состояния многолетних травостоев под влиянием коренного улучшения с посевом злаковых трав в моно- и двухкомпонентных травостоях сопровождалось достоверным ростом урожая. Небольшое повышение затрат совокупной энергии до 10.9 - 11 ГДж обеспечивало значительный рост валовой энергии до 76.7 ГДж с ростом приращения валовой энергии до 65.7 ГДж и кратном снижении энергетического коэффициента до 4.57 против 23.75. С ростом энергоёмкости переваримого протеина до 3.76 ГДж/ц наблюдалось более чем втрое снижение коэффициента энергетического производства кормов с 10.6 до 2.19. Биоэнергетический статус насыщенного по видовому составу и ценного по кормовым ресурсам бобово-злакового травостоя в одно-, двух- и трехкомпонентном насыщении отличался значительно и имел более выраженные энергетические проявления. Присутствие люцерны серповидной, которая повсеместно была доминирующей в травостоях. При сопоставимых затратах совокупной энергии в травостоях (10.8 - 11.0 ГДж) биоэнергетический статус бобово-злакового травостоя не имел значительных различий.

Изменение энергетического статуса сопровождалось изменением кормовой ценности травостоев. Подобное выразилось в значимом увеличении содержания протеина в моно- и паракомпонентных травостоях, вплоть до 14.7% при одновременном снижении содержания клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ в отсутствии доказанных различий в содержании жира и золы по вариантам оценки.

В итоговой оценке изменения химического состава травостоев под влиянием коренного улучшения и насыщения разнообразия при возрастании энергетического статуса выявлено достоверное возрастание основного критерия ценности кормов - увеличение кормовой

единицы до 0.65 и содержания переваримого протеина до 107.8 г. Выявленные изменения качественных параметров в плане базовых признаков особо проявилось в бобово-злаковом многолетнем травостое. Доказано значимое увеличение содержания протеина при монокультуре люцерны, которое достигало в среднем 20.4% с последующим достоверным снижением до минимальных (16.0%) в пара- и поликомпонентных травостоях при адекватном снижении содержания жира (до 1.7%) и переваримого протеина на фоне статистической устойчивости содержания клетчатки и золы.

Насыщение природного травостоя бобово-злаковым компонентом, помимо выявленной серии позитивных моментов, как результат агротехнологических приемов коренного улучшения обеспечивало значительное повышение кормовых достоинств сена - рост кормовых единиц в диапазоне 0.67-0.73 и переваримого протеина 178 - 218 г в к.ед.. При этом, наполнение бобового травостоя злаковыми травами (пырейник сибирский и коострец безостый) в формате пара- и поликомпонентного насыщения приводило к тенденции снижения кормовых достоинств сена (кормовых единиц и переваримого протеина), сохраняя достаточный уровень кормового богатства и высокой устойчивости травостоев.

Таким образом, анализ изменения видового разнообразия, урожая злакового и бобово-злакового многолетнего травостоя на специфических мерзлотных аласных массивах позволил вычлнить позитивный эффект создания поликомпонентных травостоев как агротехнологический прием повышения устойчивости многолетних травостоев, внедрение которых обеспечивало достоверное увеличение выхода продукции с высокими энергетическими и кормовыми достоинствами.

УДК 633.282:631.5(571.56)

МЕРЗЛОТНЫЕ ПОЧВЫ И АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ В РЕСПУБЛИКЕ САХА: СТАТИСТИКИ УРОЖАЯ, ОТКЛИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТАТУСА И КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ

Пестерева Е.С.¹, Будажапов Л.В.², Павлова С.А.^{1,3}

¹Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, Якутск, e-mail: Lena79pestereva@mail.ru

²Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Улан-Удэ, e-mail: nitrolu@mail.ru

³Арктический государственный аграрный технологический университет, Якутск, e-mail: sachayana@mail.ru

Оценка рисков возделывания суданской травы на мерзлотных почвах региона связана с жесткими почвенными и климатическими условиями, которые лимитируют урожай этой ценной кормовой культуры. Включение этой культуры позволяет значительно расширить реестр кормовых культур и повысить качество очень скудной кормовой базы. Исследования проводили на типичных лугово-черноземной мерзлотной и дерново-пойменной мерзлотной почвах в условиях полевого опыта (2017-2021гг) на опытном поле Якутского НИИСХ с посевом суданской травы (сорт Кинельская 100) в три разных срока по мере оттаивания верхнего слоя мерзлотных почв (июнь) с внесением полного минерального удобрения (NPK) в двух дозах (90 и 120 кг д.в.) согласно принятой технологии возделывания при орошении. Портретно-профильная характеристика мерзлотных почв отражала типичные параметры мерзлотного ряда с высоким потенциалом криогенеза и высоким залеганием многолетней мерзлоты, тяжелого и среднего гранолометрического состава, ярко выраженным мерзлотным характером температурного режима с поздним оттаиванием верхнего (0-18 см) слоя почв при постоянном доминировании в профиле холода. По плодородию мерзлотные почвы имели высокий потенциал и характеризовались близкой к нейтральной реакцией среды, средней обеспеченностью подвижными питательными веществами (P₂O₅ и K₂O, по Чирикову) при высоким содержании гумуса (4.83% и 5.03% соответственно). Жесткие почвенные режимы

поддерживались и критическими для суданской травы климатическими ресурсами в период онтогенеза - высокая амплитуда температур воздуха в течение полевого сезона и суточного режима, доминировании холодных воздушных масс в течение календарного года с высоким градиентом положительных температур воздуха в летний период при дефиците осадков. При наличии такого почвенно-климатического массива лимитирующих природных факторов риски возделывания суданской травы в качестве полноценного зеленого корма в мерзлотных режимах региона нивелировались серией изучаемых признаков – агротехнологических приемов, направленных на повышение в первую очередь энергетического статуса растений с реализацией потенциально возможной продуктивности и кормовых достоинств. В реестре таких приемов выделим – подбор и оценка разных вариативных сроков посева и схем высева в междурядном решении, внесение полного минерального удобрения для полноценного питания растений и активного нарастания зеленой массы в двух высоких дозах внесения (90 и 120 кг д.в.) и вегетационного полива в течение вегетационного периода развития растений. По результатам многолетних исследований независимо от сроков и схем посева, внесения минеральных удобрений, существенных различий в прохождении фенологических фаз не выявлено. Высота растений к моменту уборки суданской травы на варианте контроль не превышала в среднем 150 - 160 см и под влиянием внесения минеральных удобрений была существенно выше и достигала 200 см. Схожие фенологические и фитометрические оценки характеристики наблюдались при орошении на лугово-черноземной и дерново-пойменной мерзлотной почвах, по которым статистически доказанные различия не выявлены. Исследования показали перспективность возделывания суданской травы с обязательным внесением полного минерального удобрения. Урожай на лугово-черноземной почве по всем изучаемым признакам достоверно превышал величину урожая на контрольном варианте (160.2 ц) и в среднем достигал 248.2 ц/га. На дерново-пойменной мерзлотной почве различия в урожае суданской травы при посеве в первой и второй декаде июня в среднем составили 242.3 ц/га. Доказан наиболее эффективный ранний срок посева суданской травы на этих мерзлотных почвах - первая и вторая декада июня, а запаздывание с посевом в третьей декаде июня приводило к резкому и достоверному снижению урожая зеленой массы, которая составила 185.3 ц/га. Риски возделывания суданской травы на мерзлотных почвах в первую очередь связаны с отклонениями в сроках посева и с отсутствием внесения минеральных удобрений. Урожай суданской травы на вариантах с внесением полного минерального удобрения во всех случаях был наибольшим. Увеличение продуктивность суданской травы в мерзлотных условиях при орошении наблюдается за счёт посева в первой - третьей декаде июня рядовым способом без расширения схем междурядного посева. Срок уборки и высота скашивания растений оказали существенное влияние на выход и качество зелёной массы. Возделывание суданской травы на мерзлотных почвах при внесении минеральных туков по фону орошения обеспечивало практическую реализацию по изменению энергетического состояния посевов и продукции при наличии критических для культуры стресс-факторах. На лугово-черноземной мерзлотной почве возделывание культуры при сопоставимых затратах совокупной энергии с вариантом контроль внесение минеральных удобрений приводило к возрастанию показателей валовой энергии до 43.5-49.1 ГДж и обменной энергии - 93.1-104.4 ГДж/га. Энергетический статус посевов суданской травы под нагрузкой минеральных туков превышал энергетическое состояние на варианте контроль, где эти составляющие оказались ниже. В результате изменения энергетического состояния посевов наблюдалось возрастание приращения валовой энергии до 47.0 ГДж на варианте контроль и до 75.5 ГДж/га на варианте с внесением удобрений. Как результат увеличения энергетического статуса посевов возросло содержание переваримого протеина в зеленой массе вдвое - с 4.2 до 7.9 ц. Незначительное возрастание энергетического производства кормов (1.22 до 1.70) связано с затратами энергии в виде минеральных удобрений. На дерново-пойменной мерзлотной почве при трех разных сроках посева суданской травы, незначительно изменялся энергетический статус по валовой, обменной энергии и приращение валовой энергии при ранних сроках посева (первая и вторая

декада июня), в сравнении с поздним сроком посева культуры (третья декада июня). Отклик энергетического состояния посевов суданской травы наиболее ярко проявился под влиянием минеральных удобрений и в ранние сроки посева на фоне орошения независимо, от различий в плодородии мерзлотных почв. Риски возделывания суданской травы на этих мерзлотных почвах сводятся к минимальным, благодаря возрастанию энергетического статуса посевов под влиянием этих агротехнологических приёмов. Показатели кормовых достоинств под воздействием вносимых минеральных удобрений возделывание суданской травы на лугово - черноземной мерзлотной почве сопровождалось возрастанием сырого протеина, содержание которого с 14.5% увеличилось до 18.7 %. По всем остальным параметрам оценки (клетчатка, жир, зола и БЭВ) остался без изменений с возрастанием содержания сырой золы (6.2-7.6 %) и при снижении безазотистых экстрактивных веществ (39.5-35.6 %). Внесение минеральных удобрений обеспечивало значимый рост урожая на фоне возрастания энергетического состояния посевов, под влиянием которых наблюдалось увеличение содержания белковых фракций в кормах. Достоверное возрастание переваримого протеина наблюдалось в урожае суданской травы до 144.1 г, против 104.5 г на контроле. При снижении рисков возделывания суданской травы за счет внесения минеральных удобрений, отмечается устойчивый рост в реестре кормовых достоинств содержания сырого протеина, переваримого протеина, как наиболее ценная фракция кормовой ценности сочных кормов. Потенциальные риски возделывания суданской травы на этих мерзлотных почвах сводятся к минимальным вследствие возрастания энергетического статуса посевов под влиянием серии агротехнологических приёмов. Изменение энергетического состояния посевов обеспечивало высокую продуктивность суданской травы на мерзлотных почвах и сопровождалось ростом качественных характеристик зеленой массы. Как результат, урожай зеленой массы суданской травы вполне адекватно отражает высокий потенциал культуры с минимальными рисками возделывания на кормовые цели в этом мерзлотном регионе.

УДК 631.436

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИОГЕННЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ АЭРО-ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Пономарёва Т.В.^{1,2}, Пономарёв Е.И.^{1,2}, Финников К.А.²

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск; ² Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: bashkova_t@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru, f_const@mail.ru

Исследованию современного температурного режима мерзлотных почв, функционирующих в различных ландшафтных условиях криолитозоны и прогнозам его изменения в XXI в, посвящено значительное количество работ. В последнее время особое внимание уделяется полевым экспериментам, в которых исследуются возможные изменения почвенно-температурных и ландшафтных компонентов экосистем криолитозоны. Данные исследования улучшают калибровку существующих моделей тепло-влажнопереноса в почвах, особенно моделей, адаптированных для конкретных ландшафтов.

Исследования проведены на территории Норильского промышленного района на условно фоновых и умеренно нарушенных под воздействием аэро-техногенного фактора участках равнинной тундры. Фоновый участок «Боганида» расположен в 50 км западнее г. Норильск. Почвы представлены криозёмами, торфяно-криозёмами и торфяно-глеозёмами. Древесный покров представлен сильно разреженными лиственничниками с преимущественно кустарничково-мохово-лишайниковым напочвенным покровом. Почвенные профили маломощные до 70 см, имеют достаточно мощный торфяной, средней степени разложения, или грубогумусовый, слаборазложившийся органогенный горизонт от 10 до 20 см. Гранулометрический состав минеральных горизонтов сильно варьирует от супесчаного до легкоглинистого.

На умеренно нарушенном участке в районе р. Амбарная напочвенный покров трансформирован, мохово-лишайниковый ярус частично погиб. Наблюдается процесс усиления криогенных пучений и образования пятен медальонов, лишенных растительности. На участках с сильно нарушенным растительным покровом органогенные горизонты почвенного профиля имеют признаки деградации, проявляющейся в частичной минерализации верхнего 1-2 см слоя, характеризуются более высокой плотностью и меньшей мощностью относительно фоновых участков.

На экспериментальных участках были проведены замеры теплового потока в минеральной толще ниже органогенного горизонта с применением измерителя теплового потока ИТП-МГ4.03/5(III) «Поток». По полученным данным рассчитаны коэффициенты теплопроводности в минеральных горизонтах исследуемых почв.

Исследование глубины сезонно талого слоя (СТС) показало значительную вариабельность этого показателя, обусловленную состоянием теплоизолирующего органогенного поверхностного слоя почвы и типом фактором участка. Так, на пробных площадях с напочвенным покровом без признаков внешнего воздействия и деструкции верхнего горизонта почвы глубина СТС варьирует в диапазоне от 17–21 см (в июне) до 40 см (в августе). В отдельных участках с признаками деструкции органогенного слоя почвы глубина СТС составляла от 45 см (в июне) до 80 см (в августе). Относительное изменение глубины СТС в условиях трансформации теплоизолирующего слоя зафиксировано с отметки 40 см до 58 см, что составляет ~45%. Относительное изменение глубины СТС в условиях сезонного цикла растепления мерзлоты зафиксировано с 17–21 см до 40 см, что составляет ~25 % для участка ненарушенной равнинной кустарничковой тундры. Для сходных участков в пределах умеренно нарушенной равнинной тундры изменение СТС, связанные с сезонным ходом, зафиксированы на уровне ~47% – с величины 45 см (июнь) до 85 см (август).

Результаты детализации промеров глубины СТС и построения двумерной модели поверхности мерзлотного горизонта представлены на рисунке. Тестовые площадки имели размер 3×4 м. Измерения проводились для узлов с шагом по обеим координатам площадки 1×1 м. Далее результаты промеров глубины СТС были обработаны методом сплайн-интерполяции средствами ГИС.

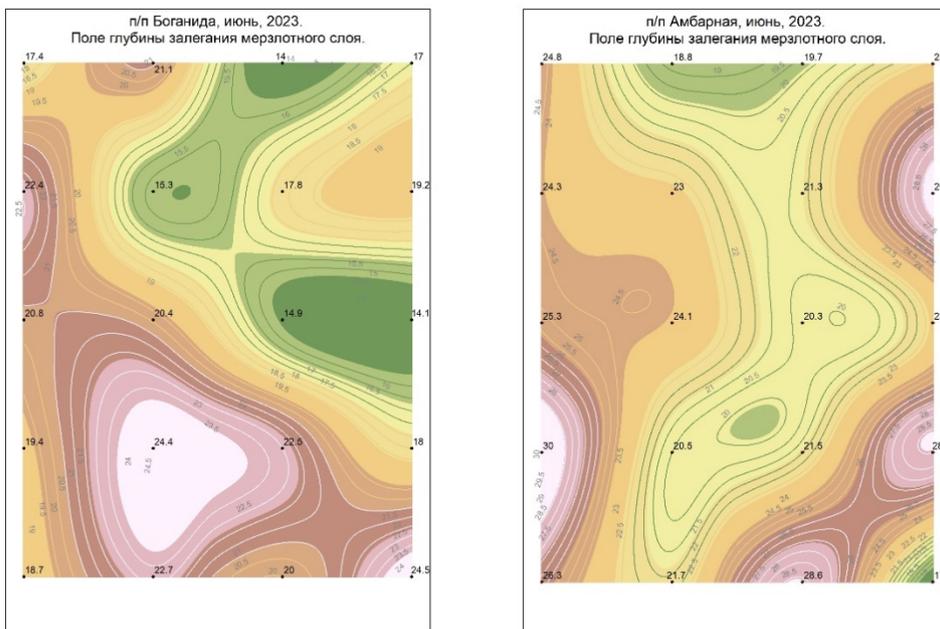


Рисунок. Двумерное поле сплайн-интерполяции глубины залегания СТС на пробных площадях «Боганида» (слева) и «Амбарная» (справа).

Полученные результаты позволяют констатировать, что вариация глубины протаивания составляет ~10–12 см в границах одной пробной площади. По всей вероятности, это является следствием влияния фактора микрорельефа.

По результатам инструментальных измерений теплового потока в почвах (измерителем теплового потока ИТП-МГ4.03/5(III) «Поток») установлено, что величина теплового потока ($q=15.3$ Вт/м²) в верхнем 40 см слое ненарушенных криозёмов в 2.5 раза ниже, чем в криозёмах на умеренно нарушенном участке ($q=36.6$ Вт/м²), в которых органогенный горизонт составлял 3–5 см и далее подстилался минеральной толщей суглинистого гранулометрического состава. С глубиной значения теплового потока закономерно снижаются по экспоненциальному закону (коэффициент достоверности аппроксимации экспоненциальной функцией – $R^2 \sim 0.85–0.97$). При этом, в случае ненарушенных криозёмов наблюдается значительный градиент теплового потока, который снижается в 4 раза на глубине 35 см. Тепловой поток падает с 15.3 до 8.7 Вт/м² на глубине 20 см и далее до 3.8 Вт/м² на глубине 35 см. В случае умеренно нарушенных криозёмов изменение теплового потока с глубиной составило не более 35%. В приповерхностном слое $q=36.6$ Вт/м², в слое на глубине 50 см – $q=23.1$ Вт/м².

Получены значения коэффициентов теплопроводности (λ , [Вт/м·К]) для всех исследованных почв, исходя из прямой зависимости от результатов измерений теплового потока [Вт/м²], толщины слоя почвы [м], а также обратно пропорциональной зависимости от значений температуры на границе слоя [К]. Характерные диапазоны значений для торфяных горизонтов – $\lambda = 0.23–0.44$ Вт/м·К, для супесей и суглинков – $\lambda = 0.40–1.50$ Вт/м·К, для глинистых горизонтов – $\lambda = 1.30–3.20$ Вт/м·К. Качественно зафиксирована вариация коэффициента теплопроводности в зависимости от влажности слоя, однако детализация этой зависимости требует проведение серии дополнительных натуральных измерений на следующем этапе реализации проекта.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, <https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки.

УДК 631.427

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОДЗОЛОВ КРИОЛИТОЗОНЫ

Семина О.Ю., Розанова М.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, sem_olga02@nail.ru, rozanova_ms@mail.ru

Почвенный покров и экосистемы криолитозоны обладают уникальными свойствами из-за распространения в зонах многолетнемерзлых пород и воздействия суровых климатических условий в течение большей части года. По мнению многих авторов территория криолитозоны регулирует поступление кислорода и метана в атмосферу, а также относится к районам с глобальными атмосферными процессами.

Сильное влияние на процессы почвообразования в области многолетнемерзлых пород оказывает промерзание почвенной толщи. Диагностируются изменения в скорости биологических и химических процессов трансформации веществ. Основными процессами, оказывающими влияние на почвообразование в криолитозоне, являются: физическое дробление в результате циклов промерзания-оттаивания, коагуляция и кристаллизация. Главными показателями качества и «здоровья» почв являются биологические показатели, к которым относится ферментативная активность почв. Важный вклад в показатели биологической активности вносят микроорганизмы, являющиеся редуцентами органических остатков, а также ферменты, являющиеся продуктами метаболизма почвенной биоты.

Ферменты в почве выполняют следующие задачи:

Участвуют в разложении минеральных и органических остатков;

Поддерживают гомеостаз в почве;

Участвуют в биогенезе гумуса;

Отвечают за доступность элементов минерального питания для растений;
Участвуют в метаболизме почвы при неблагоприятных условиях для микроорганизмов.
Цель работы – оценка ферментативной активности подзолов севера Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

Объектами исследования являются почвы, отобранные на территории ЯНАО - подзолы грубогумусированные и торфяно-подзол турбированный, представленные естественными вариантами и их антропогенно преобразованными «аналогами». Пробы почв были отобраны летом 2023 года на территориях, находящихся за Северным полярным кругом, севернее (85 км) г. Новый Уренгой; и непосредственно на территории г. Новый Уренгой.

Исследуемый район расположен в северной части Западной Сибири и характеризуется суровыми климатическими условиями – сильными ветрами и резкими перепадами температур, а также низким уровнем поступления солнечной радиации на поверхность почвы.

Преобладающая часть территории занята тундрой с характерными для нее криогенными формами рельефа: буграми пучения, термокарстовыми воронками, пятнами-медальонами. Почвообразующие породы представлены песчаными и озерно-аллювиальными отложениями с низким содержанием соединений железа.

Во всех почвах с глубиной происходит снижение активности каталазы и инвертазы, что связано со снижением содержания углерода водорастворимых соединений и углерода лабильных гуминовых кислот, являющихся субстратом для почвенных микроорганизмов (таблица 1). Практически во всех горизонтах исследуемых почв активность ферментов каталазы и инвертазы характеризуется как «очень бедная» и «бедная», исключение составляют два горизонта – торфяной горизонт торфяно-подзола глеевого и горизонт Оао подзола грубогумусированного (3).

Данные, полученные по активности уреазы, не однозначны. Не смотря на то, что все горизонты во всех представленных разрезах характеризуются «средней обогащенностью» этого фермента, распределение уреазы по профилям отличаются. В подзоле грубогумусированном (1) наблюдается увеличение активности уреазы к горизонту ВНФ (16-30 см), что может быть связано с увеличением в горизонте ВНФ белков и нуклеиновых кислот, являющихся источниками мочевины.

Таблица 1.

Ферментативная активность почв			
Горизонт, глубина (см)	Каталаза, (см ³ /г*мин ⁻¹)	Инвертаза, (мг глюкозы/г*сут ⁻¹)	Уреазы, (мг/10 г *сут ⁻¹)
Подзол грубогумусированный (1)			
Оао (0-3)	1,19	13,17	13,00
Е (3-16)	0,39	2,51	15,00
ВНФ (16-30)	0,33	2,72	16,67
ВНФ (30-46)	0,33	2,51	14,67
Абразем (1)			
Е (0-2)	0,40	11,70	19,33
Е (2-5)	0,35	2,19	18,67
Торфяно-подзол глеевый			
Т1 (0-7)	4,67	55,90	13,00
Т2 (7-12)	2,88	9,78	14,33
Еtr (12-25)	2,30	14,20	13,67
ВНФ (25-49)	0,73	1,52	14,00
Абразем (2)			

Е (0-5)	0,26	2,30	20,67
Подзол грубогумусированный (2)			
Оао (0-5)	0,85	9,70	16,33
Е (5-15)	0,44	4,55	18,33
Е (15-30)	0,39	3,17	16,67
Е (30-48)	0,46	2,13	19,00
ВНФ (48-55)	0,41	1,26	18,33
Абразем (3)			
Е (0-5)	0,40	4,78	18,67
Подзол грубогумусированный (3)			
Оао (0-2)	4,58	10,47	16,33
Е (2-15)	0,49	2,92	20,33
ВНФ (15-30)	0,53	3,19	18,33
ВНФ (30-40)	0,39	1,65	18,67
Абразем (4)			
Е (0-5)	0,36	4,66	20,33

Похожая закономерность прослеживается в подзоле грубогумусированном (2) и (3). Здесь максимальной активностью уреазы обладают горизонты Е. В торфяно-подзоле глеевом максимальная активность уреазы наблюдается в торфяном горизонте. Активность уреазы в Е горизонтах абраземов характеризуется высокими значениями, не смотря на антропогенные нарушения.

Активность дегидрогеназы была диагностирована только в трех горизонтах – Т2 торфяно-подзола глеевого, Оао подзола грубогумусированного (3) и Е абразема (4).

УДК 631.41:551.343:631.434.52(571.56-191.2

ДИНАМИКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ ТЕРМОКАРСТОЙ
ДЕГРАДАЦИИ МИКРОРЕЛЬЕФА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Филиппов Н.В.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, finiva88@mail.ru

После закрытия в 90-е года сельскохозяйственных предприятий в республике Саха (Якутия), в частности, на территории Лено-Амгинского междуречья под влиянием глобальных климатических изменений, на заброшенных пахотных угодьях начали происходить необратимые изменения окружающей среды, в том числе рельефа и почвенного покрова. Как итог, на территории образовались начальные формы аласообразования – быллары, которые со временем, при дальнейшей деградации ледового комплекса, могут трансформироваться в «дюедя». При возникновении данных форм рельефа, более или менее однородный почвенный покров приобретает некоторый мозаичный характер, за счет трансформации почв.

Всего было заложено 5 разрезов: около бровки дюеди, на вершинах и западинах между былларами на склоне и на дне дюеди. Так, на рассмотренной дюеде, по классификации Л.Г. Еловской (1987) распространены мерзлотные аласные лугово-черноземные, мерзлотные аласные дерново-глеевые и мерзлотные аласные дерново-глееватые криотурбированные почвы.

В наиболее периферийной фоновой точке – на бровке дюеди (Р-11.12Ч) распространены мерзлотные аласные лугово-черноземные солонцеватые почвы с преимущественно сульфатным (в средней части – хлоридно-сульфатным) типом засоления по анионам. По катионам в верхней части профиля преобладает магниевый-кальциевый, в нижней части кальциевый-магниевый типы засоления. По содержанию средневзвешенного количества солей

в 0-50-см слое почвы относятся к слабозасоленным (0,3%). Характеризуются высокими значениями рН (выше 7,1), которое с глубиной повышается до 8,4. В верхних горизонтах в сумме обменных оснований наблюдается высокая доля обменного натрия (29-42%). При движении вниз по профилю увеличивается доля магния. Содержание гумуса в верхнем горизонте достигает максимального значения в 8,5%, в нижележащих горизонтах варьирует от 0,9 до 1,8%. По гранулометрическому составу относятся к средним и тяжелым суглинкам. Почва на вершине склонового быллара (Р-12.12Ч) определена как мерзлотная аласная лугово-черноземная склоновая нарушенная из-за явных признаков разрушения верхних горизонтов. Весь профиль имеет щелочную среду - от 8,2 до 8,7. В составе обменных оснований преобладают катионы магния (от 38 до 56%). По средневзвешенному количеству солей относится к слабозасоленным почвам (0,4%). Верхняя часть профиля характеризуется хлоридно-сульфатным, нижняя часть – сульфатным типом засоления по анионам. В катионном составе преобладают магниевое-кальциевое и кальциевое-магниевое типы засоления. По гранулометрическому составу относится в основном к средним суглинкам, только в нижней части встречается тяжелый суглинок. Наблюдается неравномерное распределение содержания гумуса – наибольших значений оно достигает в горизонте C_{ca} (3,7%). Накопление гумуса произошло возможно при смене гранулометрического состава в нижележащем горизонте, который стал условным барьером для его движения внутри профиля.

В западине между склоновыми былларами (Р-15.12Ч) залегают мерзлотные аласные дерново-глееватые криотурбированные почвы. До 80-см глубины видны явные признаки криотурбации в виде завихрений и пятен. Это привело к проникновению гумуса в нижележащие горизонты, и в итоге он имеет близкие по значению показатели по всей глубине профиля (1,0-2,0%). По этой же причине здесь также характерна равномерно распределенная по профилю щелочная среда (от 8,3 до 8,9). По содержанию средневзвешенного количества солей почва относится к слабозасоленным (0,17%). По анионному засолению преобладает карбонатно-сульфатный тип засоления, только в верхнем и нижнем горизонтах – сульфатный. По катионам профиль имеет кальциевое-магниевый тип засоления. В составе обменных оснований преобладает доля катионов магния (от 44 до 63%). По гранулометрическому составу весь профиль тяжелосуглинистый.

Разрез Р-13.12Ч расположен на вершине быллара на дне дюеди, здесь распространены мерзлотные аласные дерново-глеевые почвы. Для них характерны высокие значения рН (от 8,5 до 9,2). В верхних горизонтах до 32 см профиль имеет хлоридно-сульфатный, в нижележащих – сульфатный типы засоления. По катионному засолению профиль очень неоднородный – типы засоления, начиная с верхнего горизонта, имеют следующий порядок: натриевый, магниевое-натриевый, магниевое-кальциевый, магниевое-натриевый, кальциевое-магниевый. По средневзвешенному количеству солей относится к слабозасоленным почвам (0,3%). Среди обменных оснований наиболее высокую долю содержания имеет магний (от 43 до 55%). Содержание гумуса равномерно распределено по всему профилю (1,5-2,0%) с максимумом в верхнем горизонте – 2,2%. По гранулометрическому составу относится к средним суглинкам.

На западине между былларами на дне дюеди заложен разрез Р-14.12Ч, где также сформированы мерзлотные аласные дерново-глеевые почвы. Явные признаки оглеения в данном профиле начинаются с поверхности. Засоление по анионам во всем профиле – сульфатное, по катионам – кальциевое-магниевое. По средневзвешенному количеству солей относится к слабозасоленным почвам (0,3%). По всему профилю рН среда щелочная (от 8,4 до 8,7). В составе обменных оснований преобладают катионы магния, в процентном соотношении их доля по всему профилю колеблется от 44 до 52%. По гранулометрическому составу только нижний горизонт относится к легким суглинкам, остальная часть – среднесуглинистая. Максимальное содержание гумуса в верхнем горизонте – 1,9%, далее его содержание в нижележащих горизонтах колеблется от 0,6-1,3%.

Таким образом, в трансекте «бровка дюеди - склоновые быллары дюеди (вершина, западина) - быллары на дне (вершина, западина)» минимальное накопление солей обнаруживается в западине между склоновыми былларами, что, скорее всего, объясняется активным вымыванием солей с внутрпочвенным и поверхностным стоками, а в остальных почвах сохраняется почти та же степень засоления, что и в фоновой почве (на бровке дюеда). При этом все рассмотренные почвы относятся к слабозасоленным. По типу засоления почвы являются преимущественно сульфатными, реже хлоридно-сульфатными. Немного выделяется разрез в западине между склоновыми былларами, где карбонатно-сульфатный тип проявляется в середине профиля. По катионам, наиболее распространенным является кальциево-магниевый тип, который превалирует во всех разрезах, кроме профиля на вершине быллара на дне, для которого, в основном, характерны магниевый и натриевый типы. В сумме обменных оснований во всех разрезах доля катионов магния является самой высокой. Только в разрезе на бровке дюеда в верхних горизонтах профиля наибольшую долю составляют катионы натрия и кальция, что закономерно, так как там выделяется ненарушенный солонцеватый горизонт. По мере продвижения вниз по склону почвенные профили становятся нарушенными и более турбированными – облик и дифференциация профиля меняются достаточно сильно, что приводит к изменению распределения показателей физико-химических свойств почвы по профилю. В фоновой мерзлотной аласной лугово-черноземной солонцеватой почве (бровка дюеда) наблюдается постепенное увеличение реакции почвенной среды при движении вниз по профилю на фоне щелочных значений, в то время на дне дюеда почвы имеют высокие и равномерно распределенные по профилю значения рН, иногда с максимумом в верхнем горизонте. Для разрезов склоновых (западина) и донных (вершина, западина) былларов за счет увеличения влажности характерны признаки оглеения разной степени выраженности, возможно с этим связано и обратное распределение реакции среды по профилю (уменьшение сверху вниз). Содержание гумуса в верхних горизонтах разрезов, кроме фонового, небольшое, что говорит о слабом развитии органического горизонта, либо об его отсутствии вследствие разрушения в ходе термокарстовых процессов, обвалов на представленных былларах.

УДК 631.481

КРИОТУРБИРОВАННЫЕ ПОДЗОЛЫ ЭКОТОННОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Чепурнова М.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, chemaryia@gmail.com

Криогенные процессы влияют на свойства и режимы почв настолько значительно, что наличие многолетних мерзлых пород (ММП) возводится в ранг субфактора почвообразования. Многие исследователи почв Севера отмечали высокую неоднородность и разнообразие почв, обусловленную влиянием криогенных процессов, активно идущих как в настоящее время, так и в прошлые эпохи. Неоднократно поднимались вопросы подзолообразования в условиях криолитозоны, однако до сих пор вклад криогенных процессов в формирование подзолов остается малоизученным. Расшифровка и уточнение механизмов этого влияния необходима для решения фундаментальных вопросов почвоведения, а также для оценки особенностей педогенеза в условиях криолитозоны. Целью настоящего исследования является уточнение морфо-генетических особенностей и классификационной принадлежности альфегумусовых почв, формирующихся в условиях влияния как современного, так и палеокриогенеза на севере Западной Сибири. Объекты исследования – подзолы, сформированные в экосистемах торфяно-болотного комплекса с бугристыми торфяниками и буграми пучения (ММП в пределах 2 метров), а также в лесных экосистемах с бугристо западным ландшафтом по системе остаточной полигональной сети (ММП отсутствуют). В ходе работы в различных элементах современного и

палеокриогенного рельефа описаны различные варианты почв с признаками оподзоливания, дана их морфологическая характеристика, определена классификационная принадлежность. Подзолы лесных экосистем характеризуются четкой приуроченностью к элементам палеокриогенеза. Степень выраженности подзолообразовательного процесса приурочена к бугристо-западинному рельефу: в понижениях мощность E горизонта может достигать 100 см и более, на вершинах бугров мощность минимальна (5-10 см). Таким образом подзолистый горизонт отличается значительной языковатостью и высоким варьированием мощности. Особенностью гидроморфных экосистем является развитие в их пределах таких своеобразных ландшафтов, как бугристые торфяники. Благодаря наличию ММП в их пределах формируются условия для развития почв альфегумусового ряда. Разновременность формирования бугристых торфяников приводит к формированию широкого разнообразия торфяно-подзолистых почв с подзолистыми горизонтами различной мощности. Для них характерны обширные криотурбации, большое количество криогенных трещин и конвективных деформаций, приводящих к высокой неоднородности и хаотичной картине распространения подзолистого горизонта.

В ходе работы выявлены особенности развития подзолов в условиях Севера, а также уточнена их классификационная принадлежность.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-24-00020 «Влияние влажности на биологическую активность торфяных почв криолитозоны».

УДК 631.48:551.34

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ ТЕХНОГЕНЕЗА В КРИОЛИТОЗОНЕ

Шадринова О.В.

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, ovshadrinova@mail.ru

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск

Химический анализ горизонтов почв выполнен по государственному заданию ИГАБМ СО РАН в рамках проекта НИР № FUGG-2024-0007, морфологический и гранулометрический анализ выполнены при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта №23-77-10046 «Роль криогенеза в формировании микроморфологических признаков почв и отложений».

Горнодобывающая деятельность неизбежно влечет за собой изменения земной поверхности, формируя новый облик почвенного покрова территории. Воздействие на почвенный покров и ландшафты оказывают как геологоразведочные работы, строительство инфраструктурных сооружений, так и процессы добычи и обогащения. Цель нашего исследования – оценка степени и характера почвообразования в импактной зоне техногенеза на примере территории промышленной площадки Айхальского горно-обогатительного комбината (АГОК), расположенного в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия). Территория исследования находится в северотаежной зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород и характеризуется криоаридным климатом. Объектом исследования являются антропогенно-преобразованные почвы, сформированные в условиях разной степени проявления техногенеза. Диагностика почв дана согласно Классификации почв России (2004, 2008). Для каждого горизонта почв изучен состав водной вытяжки (1:5), рассчитаны сумма токсичных солей, степень засоления и определен тип засоления. pH определен потенциометрическим методом, содержание органического вещества – методом колориметрии по И.В. Тюрину, емкость катионного обмена выполнена по ГОСТ 17.4.4.01-84. Общие валовые содержания 27 микроэлементов в почвах определены методом эмиссионного спектрального анализа в сертифицированной Центральной геолого-аналитической лаборатории АО «Якутскгеология». Гранулометрический состав определен методом лазерной дифракции на лазерном анализаторе размеров частиц ANALYSETTE 22 NanoTec (Fritsch, Германия) в ИЗК СО РАН, г. Иркутск.

В работе рассмотрены три ключевых участка с различным характером техногенного воздействия – 1) почвы с новым антропогенным горизонтом, сформированным в результате воздействия отвалов пустых пород; 2) разрыва пульпопровода и 3) комбинированного воздействия отвалов с выделением дополнительного горизонта, образованного вследствие разлива пульповода. Общим признаком для подобных почв является погребение или «консервация» природного почвенного профиля под слоем разлившейся пульпы либо под техногенными насыпями.

Криозем грубогумусированный стратифицированный W_s-X_{rs} -[AO_s-CR_s] (т.н. А-68) (рис. А) заложен на территории АГОКа на участке сохранившегося леса между отвалами пустых пород кимберлитовой трубки «Юбилейная». На площадке наблюдается активное развитие вторичной растительности. Проективное покрытие достигает 100%. Мощность горизонта X_{rs} достигает 13 см. Характеризуется слабой степенью сульфатного типа засоления.

Криозем перегнойный токсично-стратифицированный $W-X_{1s}-X_{2s}-X_{3s}$ -[$Oh_s-CR_{s\perp}$] (т.н. А-61/1) (рис. Б) расположен вниз по пологому склону на границе живого и мертвого леса, сформированного в результате разлива пульпопровода на территории обогатительной фабрики. Растительность на участке угнетена. Под гумусово-слаборазвитым горизонтом залегает череда антропогенных горизонтов, состоящих из крупнозернистого кимберлитового песка, отличающихся по цвету и размеру фракций, предположительно сформированных в результате наноса кимберлитовой пульпы в несколько этапов. Общая мощность наноса достигает 29 см. Наличие погребенного органогенного горизонта подтверждается значениями $C_{орг}$. Разрез характеризуется от слабой до средней степени сульфатно-хлоридного типа засоления.

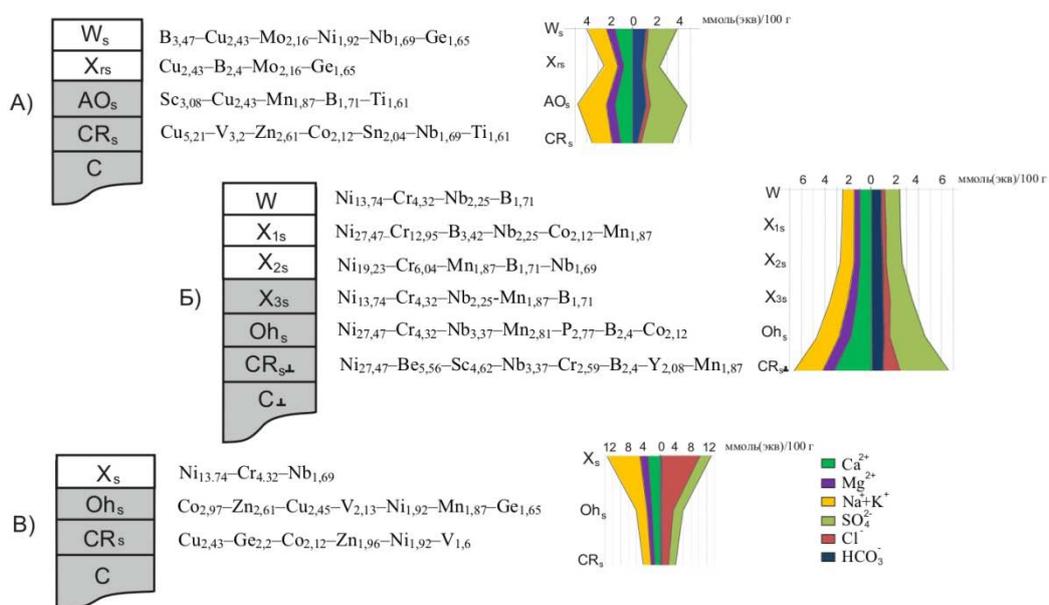


Рисунок. Схема антропогенно-преобразованных почв на промышленной площадке АГОКа (А – т.н. А-68; Б – Т.н. А-61/1; В – Т.н. А-10/4. Напротив горизонтов приведен микроэлементный спектр по коэффициенту концентрации (K_k) относительно регионального фона со значениями $K_k > 1,5$ в убывающем порядке и солевой профиль почвы)

Криозем перегнойный антропогенно-преобразованный X_s -[Oh_s-CR_s] (т.н. А-10/4) (рис. В) заложен на участке мертвого леса у отвала трубки «Комсомольская». Сформирован в результате разлива пульпопровода или трубы обратной закачки. На поверхности разреза образована солевая корочка. Растительность на участке практически отсутствует. Профиль

имеет хлоридный тип засоления очень сильной степени с поверхности со снижением до слабой хлоридно-сульфатного типа к нижним горизонтам.

Почвы характеризуются щелочной реакцией среды. В водорастворимом комплексе прослеживается увеличение сульфатов и хлоридов с одновременным проявлением степени засоления. В стратифицированных горизонтах, содержащих достаточное количество фракции $< 0,01$, капиллярное взаимодействие между всеми горизонтами почвы непрерывно, что отражается в первую очередь на значениях ЕКО. Горизонт X (т.н. 61/1), состоящий из крупнозернистого кимберлитового песка >3 мм, служит капиллярно-прерывающим слоем, который в дальнейшем будет выступать в качестве почвообразующей породы при формировании горизонта W, что на наш взгляд является начальной стадией почвообразования на техногенно-преобразованных ландшафтах. Судя по возрасту вторичных растительных ассоциаций, техногенный ландшафт сформирован в последние 5-10 лет. За такой короткий период визуальных проявлений явных признаков криогенеза в почвах нет.

Таким образом, в импактной зоне объектов горнодобывающих предприятий на техногенно-преобразованных ландшафтах формируются два типа педонов. Первый – природные почвенные профили сохраняются и представляют собой единую систему с вновь образованным одним или несколькими техногенными слоями W-Xr-[O-CR-C]. Второй тип – природный почвенный профиль законсервирован капиллярнопрерывающимся слоем, который служит почвообразующей породой W-C, где C – это Xr-[O-CR-C]. Антропогенный горизонт, на котором идут процессы ювенильного почвообразования, резко отличается по гранулометрическому и химическому составу от природных почв, оказывая воздействие на погребенные горизонты. Возможно, значения ЕКО и гранулометрический состав – это один из критериев целостности почвенного профиля, позволяющие говорить о том, является ли вновь образованный почвенный профиль единой системой.

УДК 631.434

ОСТРУКТУРЕННЫЕ ГОРИЗОНТЫ ПОЧВ О. КОЛГУЕВ (ТИПИЧНАЯ ТУНДРА)

Шматова А.Г.

Институт географии РАН, Москва, a.shmatova@yandex.ru

В тундровой зоне наряду с глеевыми почвами, криоземами и подбурами выделяются почвы с ярко выраженным процессом структурного метаморфизма. Диагностический горизонт этих почв – криометаморфический – имеет рассыпчатое сложение и выраженную структуру: угловато-крупитчатую или линзовидно-слоистую, иногда ооидную или гранулированную. Можно заметить, что описание объединяет широкий ряд форм агрегатов. Это наводит на мысль, что в формировании структуры могут участвовать различные процессы, либо различие в исходных условиях. Неопределенности добавляет тот факт, что названия структур в Классификации почв, не соответствуют типизации почвенной структуры по С.А. Захарову.

Цель исследования: дать характеристику разнообразия структур и условий ее проявления в почвах о. Колгуев, сформулировать гипотезы ее формирования.

Остров Колгуев расположен в подзоне типичных тундр – малоизученном регионе Европейского сектора Арктики. Почвообразующими породами служат рыхлые четвертичные отложения, как правило, суглинки с латеральной и вертикальной литологической неоднородностью. С 2018 по 2023 гг. в разных районах острова было описано более 50 разрезов и прикопок. Высокая водонасыщенность горизонтов тундровых почв препятствует различению деталей объемной организации почвенной массы. Чтобы минимизировать влияние влажности образцы из стенки аккуратно вынимали и раскладывали на линованную бумагу для подсыхания и последующего описания и фотофиксации. В ряде случаев, непрочная структура нарушалась при физическом воздействии, тогда описание вели по

отпрепарированной стенке разреза. Поскольку имеющаяся типизация почвенной структуры не достаточна для наших целей, то к описанию добавляли следующие параметры: форма агрегатов, их граней и ребер; вариативность форм; размерный ряд агрегатов; наличие неагрегированной, вмещающей массы.

На Колгуеве широко распространены почвы с зернисто-комковатой структурой в профиле (рис. 1, б, в, д, ж). Предварительно, они отнесены к типу криометаморфических. Характерная размерность почвенных агрегатов, в основном, укладываются в диапазон до 3 мм. Это соотносится с отмеченным в работе Тонконогова (2010) уменьшением структуры по мере продвижения на север. Однако, в Полевом определителе почв (2008) размер криогенной структуры определен как 3-10 мм. Большинство криометаморфических почв Колгуева характеризуются отсутствием или ослабеванием структуры в верхних 10-15 см (не считая подстильно-торфяной горизонт мощностью 3-10 см). Этот слой в редких случаях мог иметь признаки оглеения, но в большинстве разрезов характеризовался блеклой окраской. В связи с этим можно предположить разрушение структуры, связанное с периодическими стадиями оглеения. Однако, при этом встает вопрос о механизме участия оглеения в разрушении структуры. С другой стороны, можно предположить, что структура формируется в срединных, но не верхних горизонтах.

Далеко не во всех случаях структура имела признаки горизонтальной делимости. Это не соответствует представлениям о криогенной структуре, как сформировавшейся в результате дальнейшей трансформации шлировой текстуры. Описанная в других разрезах плитчатая структура (Рис. 1, з) часто, но не всегда, имела выраженные скелетаны. В ряде разрезов опесчаненность была так высока, что образовывала своего рода вмещающую массу (Рис. 1, г).

Во многих почвах, не зависимо от выраженности структуры в профиле в целом, обнаруживался прослой хорошо оформленных агрегатов сразу под подстильно-торфяным горизонтом. Он имел совсем небольшую мощность, и отличался рыхлым сложением. Агрегаты имели сферическую форму и одинаковый размер около 1 мм (Рис. 1, а). Можно предположить, что этот горизонт связан с новейшим циклом криогенного структурообразования, но также нельзя исключать его зоогенную природу: в подстилках исследованных почв обитают небольшие дождевые черви.

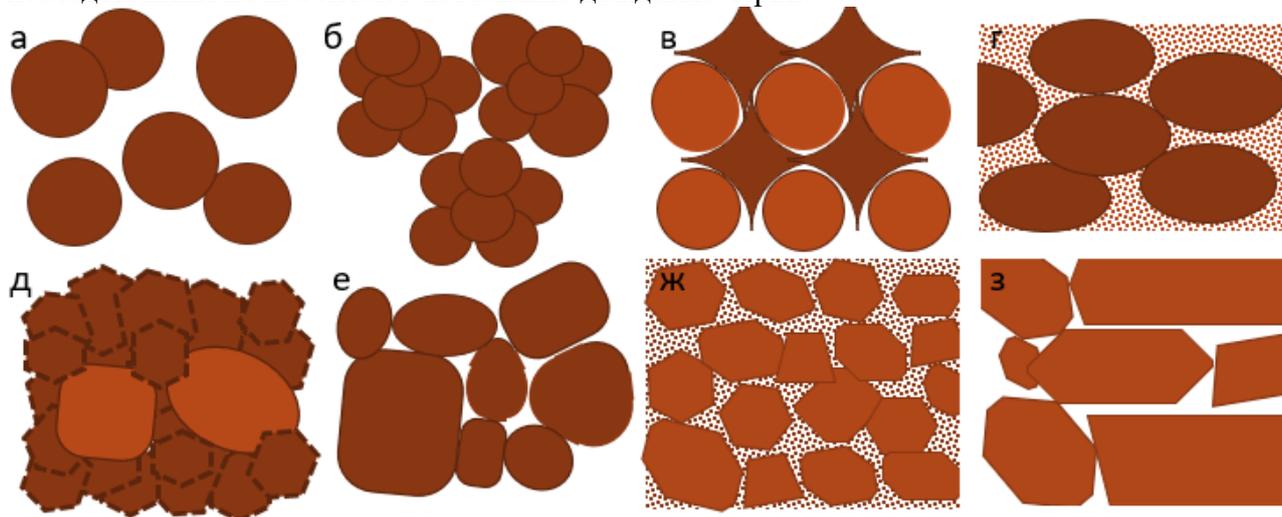


Рис.1. Некоторые виды почвенных структур, выделенные в почвах Колгуева: а) ооидная или конкреционная; б) комковатая, состоящая из микроагрегатов; в) двухкомпонентная: ооидная и зернистая; г) линзовидная (по Определителю, 2008); д) зернисто-комковатая с хорошо оформленными округлыми суглинистыми отдельностями; е) икряная; ж) зернистая со скелетанами; з) плитчато-зернистая.

В нескольких разрезах смена характера структуры была приурочена к литологическим контактам. Можно предположить, что отложения могут сильно отличаться по восприимчивости к процессам структурообразования. Ещё первыми исследователями острова отмечалась исходная оструктуренность отложений. Зернисто-ореховатая структура нами наблюдалась в обнажениях на склонах во многих частях острова. Можно предположить, что она наследуется при почвообразовании. Говоря о влиянии свойств отложений на образование структуры, нужно отметить, что выраженная структура была описана в горизонтах любого гранулометрического состава, за исключением песков. Соотношение илистых и песчаных фракций, вероятно, определяет следующие свойства структуры, которые наблюдались в некоторых разрезах: 1) появлении липкости при механическом нарушении агрегатов; 2) более сухом и уплотненном внутривершинном пространстве (при этом структура была водопрочной); 3) наличию скелетан. Все три свойства являются следствием сепарации гранулометрических фракций, что считается результатом криогенных процессов.

Таким образом, выявлено большое разнообразие структур, которое указывает на наличие нескольких механизмов их формирования и разрушения в тундровых почвах.

Автор благодарит организаторов и участников экспедиций, а особенно – Василия Лобкова и Дмитрия Петрова.

(Р) РАБОЧАЯ ГРУППА ПО АРИДНЫМ ЗЕМЛЯМ

УДК 631.46

МОНИТОРИНГ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

А.Б. Биарсланов¹, С.С. Шинкаренко², И.Р. Гаджиев¹

¹Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, г. Махачкала,

²Институт космических исследований РАН, г. Москва, E-mail: axa73@mail.ru

В данной работе приводятся исследования сезонных изменений площадей подвижных песков в период интенсификации процессов опустынивания по данным высокого пространственного разрешения. Для этого нами проведена классификация ежемесячных космоснимков Sentinel-2 за вегетационные сезоны 2019-2023 гг., определены внутригодовая и межгодовая динамика площадей опустынивания и сопоставлены их изменения с метеоусловиями.

Климатические условия территории характеризуются выраженной континентальностью: летний максимум достигает температуры +40 – +45°C, нижний минимум зимой до -20 – -25°C.

Район исследований включает Кумские и Бажиганские пески, расположенные в северной части Дагестана. Территория исследования охватывает Ногайский и Тарумовский районы. Мониторинг динамики площадей подвижных песков осуществлялся на основе классификации с обучением по одному классу ежемесячных космических снимков спутника Sentinel-2 в системе «Вега-Science». Опорные данные для классификации определялись экспертным дешифрированием, а также в ходе экспедиционных работ в мае 2021 г. и июне 2022 г. и на постоянных мониторинговых площадках по сезонам в 2023 году.

Дальнейшая обработка результатов производилась в программе QGIS 3. Площади подвижных песков были распределены на размерные классы по площади. Кроме расчета площадей подвижных песков на разные периоды, были определены и разности между ними. Также определялись максимальные и минимальные площади подвижных песков для каждого года: в первом случае сумма всех пикселей, которые относились к классу песков не менее чем в одном месяце, во втором – только те пиксели класса опустынивания, которые сохранялись в этом состоянии на протяжении всех месяцев года. Поскольку изменение площадей открытых песков и дефлированных территорий состоит из непрерывных процессов образования новых и зарастания существующих, то анализ изменений площадей новых и восстановившихся очагов опустынивания позволяет более точно проанализировать факторы соответствующих процессов.

В результате классификации ежемесячных космоснимков Sentinel-2 определены площади территорий открытых песков за март-ноябрь 2019-2023 гг. Полученные данные на май 2019 и 2020 гг.: составляют 23,7 тыс. га и 58,8 тыс. га. Существенные отличия имеются в площадях на весну 2021 и 2022 гг.

На протяжении всего периода исследований количественно преобладали небольшие очаги опустынивания площадью до 1 га каждый. До 2020 г. площадь опустынивания очагов разных классов распределялась достаточно равномерно: от 15 до 40% на каждый размерный класс до 1000 га. В июне 2020 г. в Дагестане появились очень крупные очаги опустынивания площадью более 1000 га каждый, а в ноябре отмечено два песчаных массива площадью более 10 тыс. га и один – более 100 тыс. га. В первую очередь это вызвано эоловым переносом песка при пыльных бурях в сентябре и октябре 2020 г.

Максимальные площади опустынивания были отмечены в октябре и ноябре 2020 г.

Предпосылкой для этого стали сильная засуха и возможно неконтролируемый выпас скота,

что привело к масштабным пыльным бурям, которые резко увеличили площадь лишенных растительного покрова земель. В ноябре 2020 г. площадь открытых песков и дефлированных территорий на севере Дагестана достигла почти 250 тыс. га. Таким образом, неблагоприятные гидротермические условия, чрезмерные пастбищные нагрузки и последовавшие за ними пыльные бури увеличили площадь лишенных растительного покрова земель в течение одного вегетационного сезона в 10 раз.

Сезонный ход площадей открытых песков в большинстве случаев совпадает с динамикой суммы осадков. В весенний период влагозапас в почве способствует росту растительности, но по мере прогрева воздуха к середине года растительность частично заканчивает вегетацию. Рост температур воздуха приводит к увеличению испарения, что ухудшает условия развития растений, также иссушение верхнего горизонта песчаных почв способствует активизации эоловых процессов. В конце лета и начале осени при снижении температур воздуха и наличии осадков отмечается пик вегетации однолетних сорных растений, галофитов и полукустарничков, что обычно приводит к частичному закреплению песков, в середине осени активизируется вегетация злаков. В совокупности эти процессы способствуют закреплению песков и зарастанию дефлированных участков. Засухи и сильные ветра на любом этапе вегетационного периода существенно ухудшают условия вегетации и способствуют росту площадей опустынивания.

Высокая динамичность очагов опустынивания, связанная с эоловым переносом, распределением пастбищных нагрузок, гидротермическими условиями для вегетации растительности, способной закреплять пески, требует учитывать сезонные изменения площадей лишенных растительного покрова пастбищ при анализе их многолетних изменений. Одними из вариантов ежегодной характеристики опустынивания могут быть максимальные и минимальные годовые площади, включающие участки, которые были отнесены к подвижным пескам хотя бы на одну дату в течение года, либо на протяжении всего года соответственно. При этом многолетняя динамика площадей может сильно отличаться. Например, отмечено снижение максимальных годовых площадей опустынивания от 2020 к 2022 г. и незначительное увеличение в 2023 г., но минимальные площади увеличивались на протяжении с 2019 по 2022 г. И уменьшаются в 2023 г., как и доля очагов опустынивания, существующих весной и восстановившихся осенью. Это может быть связано с формированием устойчивых массивов открытых песков, площадь которых превышает возможности самовосстановления без дополнительных мер фитомелиорации. Отношение площадей таких устойчивых очагов опустынивания к максимальной годовой при этом может составлять от 5 (в 2022 г.) до 15 раз (в 2020 г.). Минимальная площадь опустынивания в северном Дагестане в 2022 г. составила 30,1 тыс. га, что сопоставимо с оценкой по данным Landsat в 27,2 тыс. га на конец мая 2022 г.

Использование ежемесячных композитов Sentinel-2 позволило выполнить анализ сезонной динамики площадей опустынивания за период 2019-2023 гг. Установлены существенные изменения площадей территорий открытых песков в течение года: от 2 до 10 раз.

Минимальные изменения характерны для марта-мая, в то время как после июня площадь опустынивания может увеличиваться в разы. Таким образом, при изучении динамики песчаных массивов крайне важно учитывать сезонные особенности. Наиболее критичным это становится при анализе многолетних изменений, поскольку они могут быть вызваны не столько внешними факторами, а некорректным подходом к выбору дат спутниковых данных. Установлена значимая положительная связь прироста площадей опустынивания, температур воздуха и средних максимальных скоростей ветра и отрицательная связь восстановления подвижных песков со скоростями ветра.

На севере Дагестана в 2022 г. отмечается восстановление очагов опустынивания, образовавшихся в результате засухи и пыльных бурь 2020-2021 гг. с 240 до 70 тыс. га., но в то же время площадь стабильных очагов опустынивания увеличилась с 10 тыс. га в 2019 г. до 30 тыс. га в 2022, и снизилась по данным 2023 года до 20 тыс.га. Необходим мониторинг

подвижных песков для своевременного принятия мер по регулированию пастбищных нагрузок и проведения фитомелиоративных работ, чтобы избежать дальнейшей деградации ландшафтов.

УДК 631.4

КАРБОНАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ СИБИРИ

Гуркова Е.А.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, e-mail: gurkova@issa-siberia.ru

Карбонаты представляют собой один из резервуаров почвенного углерода. Основными их источниками в естественных, ненарушенных почвах являются горные породы (первичные карбонаты) и/или атмосферный воздух и почвенные растворы, а также продукты выветривания силикатов (вторичные карбонатные новообразования). Первичные карбонаты (мраморы, известняки и др.) в ходе растворения почвенными водами и выветривания распадаются на кальций и углекислый газ, т.е. этот процесс высвобождает углерод. Обратный ему процесс – связывания углерода атмосферы – реализуется в ходе образования соединений углекислоты с кальцием, магнием с аккумуляцией их в виде разнообразных форм новообразований. Т.е., аккумуляция карбонатов в почвах может способствовать консервации углекислого газа в почвах.

Процессы почвообразования, протекающие в молодых почвах техногенных ландшафтов (отвалов) во многом идентичны таковым, характерным для естественных почв. Одним из наиболее выраженных процессов является гумусообразование. Также были отмечены первичные признаки оподзоливания, иллювиирования, образования глинистой фракции. Условия для реализации процессов аккумуляции вторичных карбонатов в техногенных ландшафтах складываются из совокупности тех же факторов, что и в естественных почвах. Особенно ярко вторичное окарбоначивание проявляется на отвалах в аридном климате. В опубликованных работах имеются сведения о почвообразовании на карбонатсодержащих техногенных ландшафтах, однако вопрос образования вторичных карбонатов и в целом, карбонатного состояния почв на бескарбонатных отвалах угледобывающих предприятий оставлен без внимания. В настоящем докладе приводятся новые сведения по этой теме. Целью исследований послужило изучение карбонатного состояния молодых почв техногенных ландшафтов предприятий Сибири по добыче каменного угля.

Объектом исследования выступили эмбриоземы на поверхности отвалов Горловского месторождения антрацитов (Новосибирская область). Исследования проводились с применением двух блоков методов. Один блок – полевые методы – включал традиционные полевые исследования морфологии почв, отбор образцов, полевая оценка карбонатности почв с помощью 10% HCl. Также производилась фотофиксация карбонатных новообразований на поверхности почв и обломочного материала. Второй блок – лабораторный – включал подготовку и анализ проб на содержание общего углерода и углерода карбонатов. Количество Собщ оценивалось в мелкозем на CHN-анализаторе в лаборатории ИПА СО РАН (Новосибирск), углерод карбонатов оценивался методом алкалометрического титрования. Изучение морфологии карбонатных новообразований на поверхности обломков породы выполнено с помощью зум-микроскопа AxisPro, в 2-10-кратном увеличении в ЦКП «Ускорительная масс-спектрометрия» НГУ (Новосибирск). Полученные результаты показали следующее. Оценка содержания общего углерода в мелкозем почв показала, что его количество составило 6,36–44,05%, органический углерод присутствует в количестве 2,20–6,54%. При этом, количество карбонатов в мелкозем очень низкое – ниже 1% и практически не меняется в профиле.

Мезоморфологические исследования каменистых отдельностей из почв и с поверхности отвалов показали, что карбонаты на их гранях присутствуют в разных формах и количестве.

Качественная реакция проверялась с помощью 10% HCl. Изучены образцы алевролитов, сланцев. На гранях отмечены две группы новообразований:

– кутаны (корки, пленки) разной толщины, состава и твердости. Отмечены как тонкие налеты дисперсных карбонатов (растворяются от действия кислоты полностью), так и смешанные корки из силикатного, глинистого и карбонатного материала (отмечено растворение карбонатного материала вокруг минеральных зерен и в скоплениях глинистого материала). Как правило, в налеты и корки «впаяны» фрагменты органического вещества, зерна минералов. Аналогичные корки, налеты и кристаллы обычны для почв в естественных засушливых ландшафтах на гранях агрегатов или на каменистых включениях.

– кристаллические (игольчатые) формы отмечены на поверхности сколов сланцев и алевролитов. Разрушаются полностью от действия 10% HCl. Реакция бурная.

Таким образом, в молодых почвах техногенных ландшафтов процесс образования карбонатных аккумуляций выражен довольно ясно. При этом наиболее вероятным источником кальция и углекислоты для новообразований являются атмосферные осадки и почвенные растворы.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПА СО РАН.

УДК 631.4

СОВРЕМЕННОЕ СОЛЕВОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЧВ НА СТАРЫХ МЕЖРУСЛОВЫХ ОСТРОВАХ В НИЗОВЬЯХ В НИЗОВЬЯХ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

Жужнева И.В.

ФГБУ «Астраханский государственный заповедник», Астрахань, i.zhuzhneva@gmail.com

Особое эколого-географическое положение дельты Волги на стыке Прикаспийской провинции зоны полупустынь и озёрной провинции Каспия определяет постоянную тенденцию к засолению почв. В последние десятилетия эта проблема приобретает особое значение даже в более опреснённой её части – низовьях дельты - в связи с уменьшением обводнения территории и ослаблением промываемости аллювиальной толщи в период половодья на фоне падения уровня Каспия и зарегулирования стока Волги. В нижней, согласно схеме районирования, зоне дельты большая часть относительно старых (> 110-115 лет) островов испытывает лишь сезонное подтопление с последующим продолжительным выпотеванием легкорастворимых солей и концентрированием их в верхних горизонтах почвенного профиля. Однако в настоящее время актуальные данные о солевом статусе встречающихся здесь почв, характере и масштабах распространения их засоленных разностей в почвенном покрове и ведущих факторах засоления отсутствуют.

В связи с этим в 2006-2023 гг. было проведено почвенное обследование и выборочный мониторинг состояния почв междуречных култучно-полойно-равнинных урочищ западной части нижней зоны дельты Волги на примере пяти островов относительно старого возраста, расположенных в северной части Дамчикского участка Астраханского государственного заповедника. По результатам полевого этапа исследований на 9 профилях-трансектах и 7 внетрассовых ключевых участках практически ненарушенной территории островов, а также лабораторно-аналитических работ были получены данные о солевом статусе почв и установлены особенности их засоления и распространения. Материалы обобщены и представлены на картосхеме засоленности почв (М 1: 25000).

Междуречные култучно-полойно-равнинные урочища нижней зоны дельты охватывают острова, центральная равнина которых имеет перепад высот 20-30 см и осложнена мелкими (до 50 см) плоскодонными котловинами обсохших ильменей, старицами и руслообразными понижениями на месте бывших водотоков-ериков, окаймленных узкими невысокими приеричными повышениями. Возраст суши, где проводили обследование, находится в пределах 110-155 лет, составляя для большей части территории около 115 лет. Площадь

островов - от 56 до 168 га. Их протяжённость варьирует в пределах 1,3-4,3 км, а средняя ширина - 0,1-1,0 км. Острова вытянуты по течению омывающих их водотоков. Высота прирусловых валов и грив более 1,6 м, а центральной равнины - 0,85-1,15 м над межнным уровнем воды в протоках. По руслам пересыхающих ериков центральная часть островов может затапливаться на короткий срок в весенне-летний период только в нормальные (по высоте и продолжительности половодья) и многоводные годы.

С 2006 г. чаще происходило подтопление суши с выклиниванием грунтовых вод в наиболее пониженных участках территории. В межень грунтовые воды обычно не опускаются глубже 2,5 м, иногда снижаясь до 3,0 м. По степени минерализации они варьируют от пресных до солоноватых. Местами, на участках неглубокого залегания засоленных додельтовых морских отложений, в том числе переотложенных, грунтовые воды сильносоленоватые (до 8,0 г/л), как правило, хлоридно-кальциевые или хлоридно-натриевые.

С поверхности острова сложены современными новокаспийскими аллювиально-дельтовыми осадками различного гранулометрического состава с выраженной слоистостью. В ходе эволюции дельты неровности микрорельефа островной суши частично сглажены полойными отложениями. Это увеличивает пестроту почвообразующего аллювия и дифференциацию почвенно-грунтовой толщи по увлажнению, и как следствие, неоднородность растительности и почвенного покрова. Большое разнообразие литолого-геоморфологических и гидрологических условий определяет формирование сложной, преимущественно слабоконтрастной структуры почвенного покрова с преобладанием микрокомбинаций.

В ходе почвенного обследования наименование почвенным компонентам было дано в соответствии с рекомендациями по классификации и диагностике почв СССР (1977).

Наиболее широко в составе почвенного покрова обследованных островов представлены аллювиальные лугово-болотные почвы, различающиеся по наличию или отсутствию оторфованности, гранулометрическому составу, степени сформированности профиля и его засоленности. Значительно меньшие площади занимают незасоленные или, реже, слабозасоленные солончаковые аллювиальные луговые насыщенные и карбонатные почвы, а также их комбинации с аллювиальными лугово-болотными почвами, выделенные узкой полосой в прирусловой геоморфологической зоне островов.

Как показали исследования, наиболее выраженному засолению подвержены почвы, развитые на центральных участках островов с близким к дневной поверхности залеганием засоленных додельтовых морских отложений (хвалыньских шоколадных глин) и переотложенных осадков размытых бугров Бэра. В этих условиях формируются аллювиальные лугово-болотные почвы, в средней или сильной степени солонцеватые солончаковые, а также гидроморфные солонцеватые солончаки и солонцы-солончаки. В пределах обследуемой территории такие участки встречаются в восточной части Дамчикского стационара заповедника. Результаты ручного бурения показали, что на глубине около 3 м и менее залегают засоленные шоколадные глины хвалыньского яруса, слагающие основание размытых бугров Бэра. В поверхностных горизонтах развитых здесь почв сумма токсичных солей нередко достигает 3,4%, что соответствует очень сильному засолению при сульфатно-хлоридном или хлоридно-сульфатном магниевом-натриевом типе. При этом содержание обменного натрия от ёмкости катионного обмена составляет 18% и более. Солевой профиль почв свидетельствует об их прогрессирующем засолении.

Почвы, сформированные на осадках устьевых баров, прирусловых валов и грив, как правило, не засолены легкорастворимыми солями. В то же время развитые на култучных и култучно-ильменных отложениях почвы центральных равнин островной суши часто испытывают засоление в различной степени – от слабой до очень сильной - в зависимости от условий дренированности конкретного участка. Тип засоления сульфатный, хлоридно-сульфатный и, реже, сульфатно-хлоридный.

В целом, как показали результаты исследования, почвенный покров близких по возрасту, относительно старых островов в составе межрусловых култучно-полойно-равнинных

урочищ нижней зоны дельты Волги сильно различается по степени засоленности входящих в его состав компонентов, масштабам и характеру их распространения. Определяющее влияние на засоление почв оказывает характер почвообразующего и подстилающего аллювия, и в первую очередь, наличие солей в его составе.

Суммарная площадь засоленных почв варьирует в диапазоне 10,2-68,5% от площади конкретного острова; слабозасоленных – 9,9-30,1%; средnezасоленных – 0,2-18,2%; сильнозасоленных – 0,1-9,2%; очень сильно засоленных - 0-18,0%. В среднем, засоленные почвы занимают, около 46,6% общей площади обследованных островов (слабозасоленные – 22,7%, средnezасоленные - 13,6%, сильнозасоленные - 5,8% и очень сильно засоленные - 4,5%). Тип засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный, реже сульфатно-хлоридный. Как известно, засоление в почвах дельты Волги развивается как современный процесс и носит прогрессивный характер. При этом в низовьях дельты естественное засоление почв протекает медленно. Более заметно оно проявляется на слабодренлируемых участках старых островов, где сокращается промывающее влияние затопления в половодье, но уровень грунтовых вод ещё поддерживается высоким. В настоящее время уязвимыми в плане появления или дальнейшего развития природного засоления почв являются подтапливаемые в период половодья слабодренлируемые островные участки среднего уровня центральной и переходной геоморфологических зон, сложенные с поверхности суглинистым и глинистым аллювием, а также территории с неглубоким залеганием засоленных древнекаспийских осадков и линз минерализованных грунтовых вод, где уже развиты сильно- и очень сильно засоленные солончаковые солонцеватые почвы и солонцы-солончаки, и зоны их влияния.

УДК 631.48

ОБ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ ПОЧВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИОННОГО УРОВНЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ АРИДНЫХ УСЛОВИЙ ПРИКАСПИЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Залибеков З.Г., Мусалаева П.Д.

Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Россия, 36700, Республика Дагестан, Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75, e-mail: bfdgu@mail.ru

Почвенный покров Прикаспийской низменности характеризуется большим разнообразием, где формирующиеся различия определяются изменением свойств и показателей, свойственных аридным условиям почвообразования. В результате длительного использования почв региона общепринятыми методами затрачены биологические ресурсы экосистем, в результате которого, живые организмы потеряли способность оптимизировать противоречия, возникшие между процессами синтеза общей биомассы экосистем - с одной стороны и минерализацией - с другой. Эти противоречия усугубляются прогрессирующим климатическим потеплением и дефицитом почвенной влаги, обусловленной опустыниванием и аридизацией земель. Разнообразие формирующиеся в свойствах почв под влиянием природных и антропогенных факторов опустынивания охарактеризуются по основным типам почв с определением классификационного их уровня. Разработке этого вопроса посвящены работы многих авторов, где основное внимание уделено выявлению роли процессов эрозии, засоления, солонцеватости и дегумификации почв. До настоящего времени нет количественно-качественных характеристик определяющих устойчивость природной среды в зональном аспекте, не разработаны закономерности изменения свойств почв на разных стадиях опустынивания. Однако, отдельные типы почв и их свойства в аридном климатическом поясе характеризуются широким набором формирующихся изменений в зависимости от стадий проявления антропогенного опустынивания.

Для оценки стадий опустынивания рекомендовано принятие за основу оптимизации величин характерных для стадии фонового уровня. Классификационный уровень первой стадии укладывается в ранге видового подразделения с нестабильным сезонным характером и циклической сменяемостью во времени и пространстве. В автоморфных и

полугидроморфных почвах отмечаются уменьшение содержания глинистых частиц в слое 0-10 см уплотнение гумусовых горизонтов, подтяжка легкорастворимых солей и острый дефицит продуктивной влаги. Феноаспект экосистемы определяется включением эфемеров в состав травостоя в весенний период и увеличением видового разнообразия растений. Средняя стадия опустынивания формируется в результате комплексного воздействия ветровой эрозии, засоления и солонцеватости. В этой стадии опустынивания происходит увеличение плотности подгумусового горизонта, объемного веса при частичном разрушении корнеобитаемого слоя почвы. В гидроморфных условиях ветровая эрозия ослабляется с ограниченным распространением в окрестностях населенных пунктов, открытых разработок полезных ископаемых, дорожно-строительных комплексов др. Ветровая эрозия в третьей стадии проявляется в сильной степени в автоморфных условиях и способствует выходу на поверхность незасоленных, рыхлых среднесуглинистых и легкосуглинистых отложений. Подвергаясь выветриванию, верхняя часть почвенного профиля приобретает биологическую активность и служит субстратом, где протекают процессы физического, химического, биологического выветривания. Из диагностических признаков выделяются процессы засоления, солонцеватости и дегумификации. Увеличение нагрузок и близкое залегание минерализованных грунтовых вод способствуют накоплению солей в верхней полуметровой толще профиля светло-каштановых и лугово-каштановых почв весеннего периода сменяется вторичным засолением под влиянием пастбищного использования. Изменения, происходящие в свойствах почв средней стадии опустынивания, приводят к образованию родового уровня классификации почв подверженных аридизации. Сильная стадия проявления опустынивания формируется при одностороннем воздействии ветровой эрозии или засоления – на уровне подтипа деградированных светло-каштановых, лугово-каштановых почв и солончаков типичных, луговых. Их развитие протекает в двух направлениях: первое - восстановление первичного почвообразования; второе - деградация под влиянием вторичного засоления. Повышение плодородия почв и формирование качественных изменений в структуре аридных территорий становится реальным при использовании новых источников ППВ (подземные пресные воды). Определяющими свойствами ППВ являются отсутствие загрязнения, устранение ирригационной эрозии, возобновляемость и стабильность ресурсов воды, необходимых для орошения. Важным экономическим показателем является быстрая окупаемость затрат, обусловленная высокой эффективностью: во-первых, вовлечение в пашню целинных аридных почв, обладающих благоприятным соотношением питательных элементов, сформированных в процессе эволюционного развития; во-вторых, естественной возобновляемостью запасов ППВ за счет интенсивного водообмена. Разработанная система гарантирует стабильную рентабельность, обусловленную сменяемостью вовлеченных в процесс пастбищных земель целинными (в течение 2-3 лет). Создается новая система смены: естественная растительность пастбищных земель ↔ сменяется культурой освоенных земель, преимущественно кормовыми растениями с коротким периодом вегетации. Обширная территория полупустынных и пустынных ландшафтов позволяет осуществить планомерную смену освоенных почв новыми, обладающими высокой продуктивностью. Стадия очень сильного опустынивания формируется при одностороннем развитии до максимума процессов ветровой эрозии или засоления. Показатели ветровой эрозии и токсичных солей достигают величин выше ПДК в условиях иссушения корнеобитаемой толщи профиля. При этом генетические горизонты исчезают, морфологические признаки физико-химические свойства почв сменяются геологическими. Профиль приобретает геологическое содержание. Классификационный уровень отложений достигает выше типового формата - Отдела, описанного В.М. Фридландом в «Базовой классификации почв мира».

Актуальность, престижность проведенных исследований по проблеме борьбы с опустыниванием земель подчеркивают целесообразность выделения в качестве самостоятельной дисциплины «Аридное почвообразование».

Новая система смены способов использования формируется чередованием почв естественных пастбищ сельскохозяйственными культурами продолжительностью не более 2-х лет. Агрономические свойства почв пастбищ с природной (естественной) растительностью проявляются в положительном плане в первые два сезона. В этой связи в основу использования ППВ принята биологическая особенность плодородия почв аридных территорий – с учетом снижения потенциала до уровня фонового содержания элементов пищи и доступных форм почвенной влаги. После 2-х летнего использования почв пастбищных угодий посевы культурных растений переносят на другие участки, где почвы, характеризуются близкими показателями их плодородия. Такой подход сменяемости культур с короткой вегетацией естественной растительностью применяется в ограниченных масштабах, основной причиной которого является недостаток водных ресурсов. В аридных территориях Прикаспийской низменности и сопряженных дельтовых экосистем имеются большие резервы для применения ППВ.

УДК 631.47

ВЛИЯНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ ЗАПАДНОГО МАНЫЧА

Ильина Л.П., Сушко К.С., Шматко В.Ю.

Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: iljyna@mail.ru

Для почвенного покрова долины Западного Маныча характерным является ярко выраженная комплексность, обусловленная совокупным действием природных и антропогенных факторов. Особенности природных условий изучаемой территории тесно связаны с наличием морских и континентальных соленосных отложений, близко к поверхности залегающими минерализованными грунтовыми водами, сильно расчлененным рельефом, влияющим на перераспределение поверхностного стока, а также значительной засушливостью, сопровождаемой высокими температурами в летний период. В процессах современного засоления велика роль микрорельефа. Установлена приуроченность формирования солончаковых почв и солончаков к повышениям микрорельефа, которая обусловлена как горизонтальным, так и вертикальным перемещением растворов солей в направлении к повышенным точкам поверхности, являющимися очагами более быстрого просыхания и испарения. При незначительной разнице отдельных элементов микрорельефа по высоте (10-20 см) на расстоянии 20-50 м существенные различия в солевом режиме способствуют формированию засоленных почв разной степени и химизма засоления (Ильина и др., 2014; Ковда, 2018; Панкова и др., 2018).

Почвенные исследования проводили на территории Орловского района Ростовской области (охранная зона Государственного природного заповедника «Ростовский»), на базе Научно-экспедиционного стационара «Маныч» Южного научного центра РАН. Ключевой участок заложен в прибрежной части оз. Лопуховатое. Объектом исследования были сухостепные засоленные почвы, сформированные на разных формах микрорельефа: каштановая солонцеватая (микросклон – N46,45217 E42,70571), солонец каштановый (микрорельефное повышение – N46,45324 E42,70583), солончак гидроморфный (блюдцеобразное понижение – N46,44963 E42,70522). Почвенные разрезы на каждой площадке располагались друг от друга на расстоянии 6–50 м. Разница по высоте составляла 20-60 см. Во всех почвенных разрезах по генетическим горизонтам определены: содержание гумуса, карбонатов, плотности, гранулометрический состав, степень и химизм засоления стандартными методами (Аринушкина, 1970; Орлов, Гришина, 1981). Полевые исследования растительного покрова

проведены геоботаническими методами. Названия таксонов даны по сводке С.К. Черепанова (1995), «Флоре Нижнего Дона» (1984). Названия растений даны по П.Ф. Маевскому (2006). Почвенный профиль засоленных сухостепных почв имеет как общие черты (наличие засоленного горизонта, тяжелосуглинистый гранулометрический состав и др.), так и различия (глубина формирования засоленного горизонта, границы вскипания карбонатов, залегания гипса и окисных форм железа и др.). Выявлено, что на повышенных формах микрорельефа (микросклон и микроповышение) формируются каштановые солонцеватые почвы и солонцы каштановые, в которых в результате развития солонцового процесса происходит образование характерного солонцового горизонта. Верхний горизонт этих почв содержит небольшое количество солей, тогда как в средней части профиля наблюдается один или несколько ясно выраженных максимумов, что свидетельствует о рассолении верхней части профиля и накоплении легкорастворимых солей на некоторой глубине вследствие формирования иллювиального горизонта. Анализ водной вытяжки показал, что сухой остаток в солонцовых горизонтах не превышает 2 %. По степени засоления – верхние почвенные горизонты незасоленные или слабозасоленные, иллювиальные (горизонты накопления солей) – средnezасоленные и сильнозасоленные. Химизм (тип) засоления – в каштановой солонцеватой по всему профилю сульфатно-хлоридный, в солонце каштановом в горизонтах А и В₁ сульфатно-хлоридный, в иллювиальном горизонте хлоридно-сульфатный. На блюдцеобразных понижениях формируются пятна солончаков гидроморфных типичных, в которых с поверхности отмечается накопление легкорастворимых солей в виде новообразований белого цвета: корочек на поверхности почвы, прожилок, пятен и конкреций по всему профилю. Наряду с легкорастворимыми солями в почвенном профиле солончаков отмечено наличие гипса в виде пятен, кристаллов, друз и карбоната кальция, который представлен расплывчатыми пятнами и примазками. По степени засоления профиль средnezасолен. Химизм засоления преимущественно хлоридно-сульфатный.

Почвы ключевого участка характеризуются повышенным содержанием гумуса в верхних горизонтах 2,41–2,67% и постепенным снижением его вниз по профилю до 0,67–0,76%. Солончак гидроморфный имеет гумуса не выше 2% в верхних горизонтах и в нижележащих не более 0,72%. В распределении карбонатов CaCO₃ отмечена общая тенденция к плавному уменьшению его содержания вниз по профилю с 0,84–1,15% до величины, не превышающей 2%.

Во всех почвах ключевого участка, сформированных на разных формах микрорельефа, происходит развитие процессов засоления, при этом засоленные горизонты имеют тяжелосуглинистый и глинистый гранулометрический состав, повышенные значения плотности (1,43–1,64 г/см³), пониженное содержание гумуса (не более 2,0 %) по сравнению с незасоленными горизонтами.

На исследуемом ключевом участке было проведено описание растительных сообществ. Установлено, что в микропонижениях формируются различные луговые сообщества с участием *Elytrigia repens* L., *Poa angustifolia* L., *Carex melanostachya* Bieb. Ex Willd., *Calamagrostis epigeios* L. Roth, *Beckmannia eruciformis* L., *Limonium gmelinii* и *Limonium sareptanum* и др. На засоленных почвенных разновидностях на микросклонах и микроповышениях, при развитии солонцового процесса формируется специфическая растительность, представленная ксерофильными и галофильными видами, среди которых преобладают *Camphorosma monspeliaca* L., *Artemisia pauciflora* Web., *Polygonum salsugineum* Bieb, (*Petrosimonia oppositifolia*) и др. Выявлено, что на солонцах каштановых преобладают пустынно-степные виды растений и их сочетания различны – встречаются группировки с преобладанием *Artemisia lerchiana* Web/ et Stechm. с участием *Kochia prostrata* L. На солончаках гидроморфных типичных формируются галофитные растительные сообщества, среди которых широко представлены: сарсазановые ассоциации *Halocnemum strobilacei*,

солеросовые *Salicornietum perennantis*, сведо-сарсазановые *Halocnemetum strobilacei suaedosum salsae* и др.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают закономерность формирования засоленных почв в условиях сухой степи, которые приурочены к разным формам микрорельефа (микросклон, микроповышение, микропонижение), при этом, контрастность почвенного покрова сопряжена с произрастающими на них растительными сообществами. Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122020100332-8 «Роль природных и антропогенных факторов в формировании и динамике равнинных биогеоценозов».

(Q) РАБОЧАЯ ГРУППА. ПОЧВЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

УДК 502.057, 574.36

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВЕ НА ТЕРРИТОРИИ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «КАРБОН ПОВОЛЖЬЕ»

Л. Александрова, А.С. Гордеев, В.Р. Бабичук, П.А. Курынцева, С.Ю. Селивановская
Казанский (Приволжский) федеральный университет, polinazwerewa@yandex.ru

Почва является ключевым компонентом глобального цикла углерода, в ней содержится 80% органического углерода биосферы. Так, по данным Батджэса (Batjes, 1996), почвенный покров Земли содержит около 1500 Pg (1 Pg = 10¹⁵ г) органического углерода, это в три раза больше, чем содержится в растительном покрове, и в два раза больше, чем в атмосфере. По данным другой группы исследователей (Chappell et al., 2015) органического углерода в почве содержится в три раза больше, чем в атмосфере. Измерение содержания углерода в разных формах и на различных почвенных горизонтах дает возможность более подробно изучить процессы, обеспечивающие круговорот углерода в биосфере. Известно, что наличие достаточного количества углерода в почве обуславливает ее плодородие. При этом почвенный углерод представлен органической и неорганической формами (Чимитдоржиева, 2017). Углерод служит источником питания для почвенной биомассы, которая обеспечивает образование и накопление в почве гумуса и микроэлементов (меди, цинка, бора, марганца, молибдена, кобальта), составляющих с гуминовыми веществами комплексы, легко усваиваемые растениями (Ларионов, 2019). При недостатке углерода происходит снижение микробной активности и ослабление рециклирующей активности азота (Прянишникова и др., 2015). С февраля 2021 года в Российской Федерации в рамках реализации национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата осуществляется программа по созданию карбоновых полигонов. Она включает в себя исследования, направленные на оценку интегральных значений углеродного баланса для разных типов экосистем, что в дальнейшем позволит рассчитать углеродный след для отдельных субъектов Российской Федерации и страны в целом (Карбоновые полигоны РФ).

Целью данной работы было оценить запасы углерода в почве на территории карбонового полигона «Карбон Поволжье».

Пробы для исследования были отобраны на лесном участке «Обсерватория» полигона «Карбон-Поволжье», который расположен в Зеленодольском районе Республики Татарстан. Координаты: 55.843215, 48.798640 (рис. 1). Растительность полигона типична для Приказанского региона и представляет собой различные сукцессионные стадии коренных хвойно-широколиственных подтаежных и неморальных широколиственных лесов. Основная часть фитоценозов – липняки волосистоосоковые (70%), включающие в себя различные вариации обилия других пород, в числе которых ель финская, сосна обыкновенная, дуб черешчатый, береза повислая, осина дрожащая. Почвенный покров участка представлен дерново-подзолистыми почвами. Почвенные разрезы были заложены в июне 2023 г.: разрезы 1 и 2 в липняке волосистоосоковом, разрез 3 – в березняке неморальнотравяном с липой. По генетическим горизонтам был произведен отбор проб для определения гранулометрического состава, содержания общего углерода, микробной биомассы, численности бактерий и микромицет. Анализ запасов почвенного углерода проводили согласно методике количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов, утвержденной Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.05.2022 №371 в модификации.

Дерново-подзолистые почвы карбонового полигона отличает маломощная (2–5 мм) подстилка, которая представлена растительным опадом разной степени разложения. Максимальное содержание общего углерода отмечено в горизонте А₁ (1.51-2.30%), минимальное – в горизонте А₂ (0.07-0.12%). При этом содержание С_{общ} в горизонтах А₁А₂,

V_1 , V_2 достоверно не изменялось и составляло 0.15-0.39%. Наиболее выраженное снижение содержания $C_{\text{общ}}$ было отмечено при переходе от горизонта A_1 к горизонту A_1A_2 – на 61-80%. Наибольшая численность бактерий наблюдалась в горизонте A_1 (от $7.72 \cdot 10^5$ до $9.15 \cdot 10^4$ копий генов/г) и снижалась с глубиной примерно так же, как и содержание гумуса (рис. 3). В горизонтах A_2 , V_1 , V_2 численность бактерий составляла от 6 до 77 копий генов/г. Общая тенденция снижения численности с увеличением глубины установлена и для микромицет. Так, от горизонта A_1 к горизонту A_1A_2 количество микромицет сократилось с $1.96 \cdot 10^4$ – $5.74 \cdot 10^4$ копий генов/г до $3.46 \cdot 10^2$ – $8.67 \cdot 10^3$ копий генов/г. На глубине 40–130 см численность микромицет достоверно не изменялась и составляла 21–235 копий генов/г. Разрез 3 по сравнению с двумя другими разрезами характеризовался большей численностью микромицет. В разрезе 1 их численность сократилась с $5.74 \cdot 10^4$ копий генов/г в горизонте A_1 до $3.46 \cdot 10^2$ копий генов/г в горизонте A_1A_2 , а далее в горизонте A_2 она вновь возросла до $2.29 \cdot 10^3$ копий генов/г. Однако статистический анализ показал отсутствие достоверных различий между горизонтами по этому показателю ($\alpha < 0.05$). Максимальное содержание углерода микробной массы ($C_{\text{мик}}$) также характерно для горизонта A_1 – 0.69–0.76 мг/г. Максимальное ее снижение наблюдается в пределах верхних 40 см – на 22–25%. Стоит отметить, что для разреза 1 установлено увеличение содержания $C_{\text{мик}}$ в горизонте A_2 до 0.50 мг/г. В горизонтах A_2 , V_1 , V_2 содержание $C_{\text{мик}}$ достоверно не изменяется и варьирует в диапазоне 0.37–0.50 мг/г.

Запасы общего и микробного углерода в почвах полигона рассчитывали для слоев 0–30 см, 30–50 см, 50–100 см, 0–100 см в соответствии с «Методикой количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» (Приказ Минприроды РФ от 27.05.2022 №371). Максимальные запасы общего углерода содержатся в верхнем 30-см слое, объединяющем горизонт A_1 и A_1A_2 , и составляют 32.36 ± 13.45 т/га, из которых 7% приходится на углерод микробной биомассы (2.29 ± 0.21 т/га). С глубиной запасы углерода закономерно снижаются. Согласно данным классификации запасов углерода в почвах, приведенной в Национальном атласе почв Российской Федерации (2011), рассчитанный запас углерода в слое почвы 0-100 см на территории карбонового полигона «Карбон Поволжье» оценивается как низкий. В слое 0–30 см содержится 67% от запасов общего и 29% микробного углерода. При этом запас углерода в нижних слоях почвы (30–100 см) также достаточно высок 15.7 т/га, поскольку углерод в них подвергается меньшей минерализации. Именно поэтому анализ запасов углерода должен включать исследование всего профиля (Сидорова и др., 2023). Полученные значения превышают средние показатели запаса углерода для лесных почв Европейской части России (Щепашенко и др., 2013). Однако, более поздние результаты расчета запаса углерода, представленные в другими исследователями, совпадают с данными настоящей работы и варьируются в диапазоне 30–60 т/га (Чернова и др., 2021; Завьялова, 2022; Кулагина и др., 2023). Установлено, что почва на территории карбонового полигона «Карбон Поволжье» относится к дерново-подзолистым, имеет характерное для данных почв распределение горизонтов, содержание общего и микробного углерода, численность бактерий и микромицет. Показано, что с увеличением глубины снижается содержание общего и микробного углерода, содержание бактерий и микромицет, а также респираторная активность. Максимальное снижение оцененных показателей установлено от горизонта A_1 к горизонту A_2 (при переходе с 0 до 35-54 см), при этом максимальное уменьшение отмечено для численности бактерий на 98-99%, минимальное для $C_{\text{мик}}$ на 35-45%. Суммарный запас общего углерода в слое 0-100см составил $48,05 \pm 13,86$ т/га, запас микробного углерода $4,89 \pm 1,13$ т/га. Несмотря на низкие концентрации общего и органического углерода в горизонтах A_2 , V_1 , V_2 вклад данных горизонтов в общий запас составил 22-40% и 51-58%, соответственно, что обусловлено достаточно большой мощностью этих горизонтов (44-60 см). Таким образом, для оценки запасов углерода и дальнейшего расчета его баланса для каждого типа экосистемы

необходимо учитывать запас углерода не только в верхнем слое, но и распределение его по профилю.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004

УДК 631.4; 551.58

ГЕОГРАФИЯ ИЗМЕНЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО И ПОЧВЕННОГО КЛИМАТА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

Алябина И.О.¹, Решоткин О.В.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: alio@yandex.ru

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail: reshotkin@rambler.ru

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата характеризуется как глобальное потепление. По данным Росгидромета, территория России теплеет существенно быстрее, чем планета Земля в целом. Рост температуры воздуха и изменение количества и режима выпадения осадков ведёт к изменению климата почв – в целом инерционной и медленно реагирующей на изменения окружающей среды системы. Температурный режим почвы, или изменение во времени температурного поля почвы, наряду с водным режимом почвы, обладают наибольшей скоростью изменения под влиянием климата и определяют характер и интенсивность всех физических, химических и биологических процессов почвообразования. Изучение температуры почвы приобретает особую актуальность в связи с современным изменением климата, которое ведёт к изменению почвенных свойств и процессов, смене растительных сообществ и изменению ландшафтного облика территории.

Исследование проводили для Европейской России и Западной Сибири. В составе созданной геореференцированной базы данных в настоящее время на эту территорию имеются 906 метеостанций Росгидромета, для которых возможно провести расчёты и построить картографические модели изменения годовых, сезонных и месячных температур воздуха, начиная с периода 1961-1990 гг. (30-летие, принятое за климатическую норму) и заканчивая 2011-2020 гг., и 138 станций с аналогичными данными по температуре почв.

Для построения карт и проведения расчётов используются геоинформационные системы Аксиома версия 4.4 и MapInfo Professional v.17.0.4. Картографические модели (статистические поверхности методом обратных взвешенных расстояний (IDW) и изолинии) по рядам данных построены в ГИС Аксиома версия 4.4 (Модуль «Работа с поверхностями и растрами» v.012).

При сопоставлении усреднённые данных о температуре воздуха за десятилетие 2011–2020 гг. и период 1961–1990 гг. установлены значительные изменения в распределении температур на рассматриваемой территории. Наиболее существенный рост температуры воздуха в последнее десятилетие наблюдается на северо-востоке Европейской России и на севере Западной Сибири. На созданных картографических моделях среднегодовой температуры воздуха хорошо заметно смещение изотерм в северо-восточном направлении. На севере исследуемой территории наблюдается существенное сокращение площади с отрицательными среднегодовыми температурами воздуха, а на юге – увеличение площади со средней годовой температурой выше +10°C в Европейской России и выше +2°C в Западной Сибири.

Смещение нулевой изотермы в 2011–2020 гг. относительно климатической нормы составило около 400 км в европейской части страны (довольно ровное смещение на северо-восток) и от 150 до более чем 500 км в Западной Сибири (смещение на северо-северо-восток, изотерма 2011–2020 гг. неровная, языковатая).

Потепление ведёт к изменению температурного режима почвы, увеличению продолжительности тёплого периода в почве, уменьшению глубины промерзания и

длительности нахождения почвы в мёрзлом состоянии. В сезонном и месячном циклах также наблюдается потепление почвы. В верхних горизонтах потепление почвы более выражено в холодный период года.

Выявленные изменения атмосферного климата и температурного режима почв позволяют по-новому оценить почвенные и климатические ресурсы Европейской России и Западной Сибири для сельского и лесного хозяйства, включая климатические риски по выращиванию сельскохозяйственных культур.

* Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-14-00107.

УДК 551.510.4

КАРБОНОВЫЕ ПОЛИГОНЫ И МОБИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИОА СО РАН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ИХ ПОТОКОВ ИЗ ПОЧВЫ

Антонович В.В., Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К., Дудорова Н.В., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Краснов О.А., Панченко М.В., Пестунов Д.А., Плотников А.А., Пташник И.В., Рассказчикова Т.М., Савкин Д.Е., Симоненков Д.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В., Чернов Д.Г., Шмаргунов В.П.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия, bbd@iao.ru

В 2021 году Правительство РФ наконец-то озаботилось проблемой парниковых газов и объявило о создании на территории России сети карбоновых полигонов для изучения пространственно-временной изменчивости их концентрации. Ранее, при отсутствии централизованного финансирования, ряд организаций РФ начал создавать подобные пункты мониторинга в инициативном порядке. Одной из таких организаций является Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, создавший несколько стационарных и передвижных пунктов в сотрудничестве с учеными Японии, Франции, Финляндии и США. В настоящем докладе дается их описание, а также приводятся основные результаты мониторинга парниковых газов за предыдущие десятилетия.

Исторически первой стационарной (в декабре 1992 года) была создана TOR-станция в рамках международного проекта по исследованию тропосферного озона TOR (Tropospheric Ozone Research) европейской программы EUROTRAC. Она работает и в настоящее время. Находится на северо-восточной окраине Томского Академгородка. Затем в эксплуатацию была введена обсерватория «Фоновая», расположенная на восточном берегу реки Оби, в 60 км к западу от Томска. Для контроля концентрации парниковых газов в пригородном районе была запущена обсерватория «Базовый экспериментальный комплекс» в 3 км к востоку от TOR-станции. С целью расширения контролируемой территории в начале 2000 годов создана сеть JR-STATION (Japan-Russia Siberian Tall Tower Inland Observation Network). Она охватывает почти все территорию Западной Сибири. В ее состав также входят комплексы для исследования потоков парниковых газов на границе почва-атмосфера (Васюганское болото). С целью изучения потоков парниковых газов на границе «вода-атмосфера» на пресноводных озерах создана и эксплуатируется совместно с Лимнологическим институтом СО РАН «Байкальская атмосферно-лимнологическая обсерватория», расположенная на берегу озера Байкал, в п. Большие Коты, Иркутской области.

Мобильные средства представлены автомобильным комплексом для измерений концентрации CH_4 и CO_2 , самолетом-лабораторией Ту-134 (Як-40) «Оптик» (ранее работы выполнялись на Ан-30) и корабельными комплексами.

Проведенный мониторинг на территории юга Западной Сибири показал, что продолжается рост концентрации парниковых газов на всех высотах. Для углекислого газа он составляет в среднем $2,19 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$, а скорости увеличения его концентрации максимальна на уровне $0,5 \text{ км}$ $2,22 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ и минимальна на высоте 3 км - $2,17 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$. Увеличение содержания

метана также наблюдается во всей тропосфере и составляет в среднем 9,3 млрд¹/год. Максимальная скорость роста фиксируется в пограничном слое – 10,0 млрд¹/год, минимальная – 8,6 млрд¹/год регистрируется на высоте 7 км. Наименьшая изменчивость характерна для N₂O. В среднем рост концентрации происходит со скоростью 0,80 млрд¹/год, а изменение по высоте в пределах 0.78 -0.81 млрд¹/год. Летом в пограничном слое атмосферы увеличение содержания CO₂ в период с 1997 по 2004 гг. происходило медленно (0,32 млн¹/год), а начиная с 2005 года, рост резко увеличился и к 2020 году составил 2,52 млн¹/год. На высоте же 7,0 км концентрация углекислого газа над юго-западной частью Западной Сибири росла практически линейно с темпом 2,13 млн¹/год.

Проведенный анализ удельных потоков парниковых газов на границе раздела «почва-атмосфера», наблюдавшихся в обсерватории «Фоновая» в 2023 году, показал, что для CO₂ и CH₄ имелся устойчивый сток в течение всего вегетационного сезона. Для N₂O, наоборот, слабая положительная эмиссия. Устойчивый сток углекислого газа из атмосферы наблюдался в период с мая до середины августа. Его величина достигала –600 мг м⁻² ч⁻¹ в июне и июле. В этот же период по данным темной камеры усиливалось и дыхание экосистемы (растительность + почва) до 500 мг м⁻² ч⁻¹. Величина стока метана достигала – 0,08 мг м⁻² ч⁻¹. Поток закиси азота колебался вблизи нуля, а его среднесуточные вариации почти укладывались в коридор ±0,02 мг м⁻² ч⁻¹.

Для CO₂ установлена нелинейная положительная зависимость увеличения интенсивности дыхания экосистемы от температуры почвы. Для метана получены линейные отрицательные зависимости во всех трех камерах – рост температуры почвы усиливает его поглощение. У N₂O имеются очень слабые положительные зависимости в обеих прозрачных камерах (с растительностью и без нее). Выполненные оценки вклада эмиссии CO₂ из почвы показали, что в среднем за сутки микробное дыхание может вносить вклад от 51,4% до 63,0% в общее дыхание экосистемы. В дневное время, из-за усиления дыхания растительности, вклад микробного дыхания уменьшается до 26,5–42,3%, а ночью, наоборот, его роль повышается до 75,6–88,7%. В среднем за сутки доля поглощения метана почвой, обусловленного диффузией и свободной метанотрофией, изменяется от 6,8% до 43,8%. Меньше она становится в дневное время и увеличивается в ночное. Вклад почвы с удаленной растительностью в общую эмиссию N₂O может составлять от 51,6 до 80,7%.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.4

ПОЧВЕННЫЕ ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

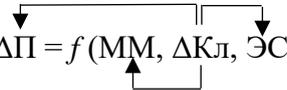
Апарин Б.Ф.

Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, e-mail: soilmuseum@bk.ru, Санкт-Петербургский государственный университет, b.aparin@spbu.ru

Глобальное повышение температуры вновь возбудило интерес к исследованию климата как фактора почвообразования, угасший в 70-х годах прошлого столетия. Оказалось, что наука не готова ответить на вызовы времени: дать прогнозы, каков будет ресурсный потенциал почв при разных сценариях климата; каковы будут последствия неизбежных изменений важнейших функций почв (воспроизводство плодородия, генерация газов, средообразование).

Между тем, теоретическую базу для прогнозирования разработал еще В.В. Докучаев, открывший основной закон естествознания – закон всеобщей функциональной связи элементов в природе и серию законов, определяющих связи между разнообразными свойствами почв и факторами почвообразования.

Применительно к обсуждаемой теме Докучаевский закон можно представить в виде следующего выражения:

$$\Delta\Pi = f(\text{ММ}, \Delta\text{Кл}, \text{ЭС}) \Delta\text{T},$$


где $\Delta\Pi$ – изменение функций почвы; ММ – минеральная матрица почвы; $\Delta\text{Кл}$ – изменение климата; ЭС – экосистема; ΔT – прогнозируемый период времени.

Прямое воздействие климата на почвы заключается в изменении элементов энергетического баланса почвообразования, водного и теплового режимов межфазных взаимодействий, векторов перемещения продуктов взаимодействия. Косвенное воздействие климата на почвы проявляется, главным образом, через изменение параметров биологического круговорота веществ в экосистеме.

Климат – колебательная циклическая система, являющаяся функцией солнечной радиации и циркуляционных процессов в атмосфере. Они определяют закономерности межвекового и внутривекового (многолетнего) хода осадков и температуры, влияющих на тренд и траекторию развития почвообразовательного процесса. Антропогенное воздействие на состав атмосферы усложняет естественный ход метеозлементов (осадки, температура). Почвообразование – это иерархическая система сложно организованных циклических процессов: профилеобразующих, горизонтообразующих, элементарных почвенных, а также процессов индивидуальной природы (биологические, физические, химические и механические). Все эти процессы имеют свое характерное время проявления в соответствующей форме организации органо-минерального вещества: профиль, горизонт, твердофазные признаки. Условием формирования того или иного генетического типа почв является относительное постоянство климатического фактора на всем периоде развития почв от онтогенеза до климаксного состояния. Фактор характеризуется средневековой климатической нормой профилеобразующего процесса (КНП). КНП, кроме среднемноголетних значений температуры и осадков, включает другие показатели: сумму положительных температур, период биологической активности, коэффициент увлажнения. Норма КНП рассчитывается за весь срок инструментальных наблюдений за метеозлементами и экстраполируется на весь предшествующий период развития почвы.

За изменения климата, которые влияют на профилеобразующие процессы, принимается устойчивое однонаправленное отклонение параметров метеозлементов от среднемноголетних значений – нормы. По предложению Всемирной метеорологической организации за основу анализа и оценки данных наблюдений за метеозлементами, их изменений и прогнозу, принимается климатическая норма, рассчитанная за период с 1961 по 1990 гг., т.е. за 30-летний период.

Почвенными индикаторами изменений климата являются типоморфные характеристики почв: морфогенетический, органо-гумусовый, солевой, агрегатный и кальциевый профили, а также твердофазные новообразования. Скорость ответной реакции на изменение климата у почвенных индикаторов различная и обусловлена характерным временем процессов их формирующих. Проблема прогноза степени влияния потепления климата на почвы сводится в общем виде к рассмотрению (анализу) связей между процессами почвообразования и их результатом: типоморфные признаки, функции.

УДК 631.4

ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ МИКРОБИОМОВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ
ТОРФЯНИКОВ (PALSA) В СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

Богородская А.В.¹, Новенко Е.Ю.², Карпенко Л.В.¹, Прокушкин А.С.¹

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск,
e-mail: anbog@ksc.krasn.ru

² Институт географии РАН, Москва

В многолетнемерзлых торфяниках (palsa), широко распространенных в криолитозоне Евразии и Северной Америки, сосредоточены значительные запасы органического вещества. В связи с деградацией многолетней мерзлоты и увеличением глубины сезонно-талого слоя (СТС) они подвергаются разрушению, проседанию и формированию термокарстовых озер. Эти процессы определяют увеличение доступности почвенного органического вещества, (ПОВ) ранее законсервированного в мерзлой толще микробиологической минерализации. Изменения температурного режим почвы, ее влажности и химического состава, в свою очередь, могут модулировать активность микроорганизмов, ответственных за деструкцию ПОВ и, соответственно, выделение парниковых газов (CO_2 , CH_4 и N_2O). Таким образом, для адекватного прогнозирования выбросов парниковых газов из торфяников криолитозоны необходима оценка потенциальной доступности и чувствительности органического вещества, законсервированного в мерзлой толще на основе инкубационных экспериментов. Исследуемые многолетнемерзлые торфяники (крупно- и плоскобугристые торфяные болота) расположены в экотоне лесотундры в Туруханском районе Красноярского края в субарктическом климате в зоне прерывистого распространения многолетней мерзлоты. Исследования проводились на базе Игарской геокриологической лаборатории Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (г. Игарка). Керны торфа мощностью 1.6 (полный профиль плоскобугристого болота «Малая Гравийка» (МГ)) и 1.4 м (верхняя часть залежи мощностью 8.2 м крупнобугристого болота «Кутузовская тундра» (КТ)) были получены в зимний период (февраль) колонковым способом бурения с шагом отбора проб 2–5 см в зависимости от соотношения торфа и ледяного материала. Образцы сезонно-талого слоя торфяных залежей мощностью 0.66 м (верхняя часть залежи мощностью 8.5 м крупнобугристого болота «Гравийка» (Г)) и 0.41 м (МГ)) и верхние 2–4 см мерзлоты были отобраны в летний период (август) с шагом 2 см. В пробах определялись содержание влаги, плотность, ботанический состав и степень разложения. Образцы торфа были проанализированы на содержание С и N и состав стабильных изотопов ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) с помощью TOC Macro cube (Elementar, Германия) параллельно с Isoprime 100 IRMS (Великобритания). Субстрат-индуцированное (СИД) и базальное дыхание (БД) торфов определяли на газовом хроматографе Agilent 6890N (Hewlett-Packard, США), используя принятые инкубационные методики. Наиболее высокая потенциальная дыхательная активность гетеротрофных микроорганизмов характерна для верхней части исследованных торфяников (Рис. 1), сложенных современным органическим веществом, а, именно, очесом зеленых и гипновых мхов, остатками лишайников и корней кустарничков. СИД и БД в этом слое сохраняют повышенные значения, как в зимний, так и летний период. Ниже по профилю дыхательная активность характеризуется более низкими значениями, но имеет тенденцию роста с глубиной залежи. На отдельных глубинах выявлены всплески СИД и БД, что, вероятно, отражает накопление лабильного углерода в надмерзлотном слое (глубина около 70 см), включая, вероятно, и реликты талого слоя (например, пик на глубине 135 см в профиле МГ, Рис. 1г). Вместе с тем, обнаружено, что образцы торфа сезонно-талого слоя, отобраные в зимний период, имеют более высокую дыхательную активность, что предполагает накопление лабильного углерода в процессах замерзания-оттаивания и его утилизацию микробиомом и/или миграцию к фронту мерзлоты в теплый период. Инициирование глюкозой дыхательной активности (увеличение продукции CO_2 до 10 раз) указывает на лимитирование метаболически активного микробиома доступным ПОВ.

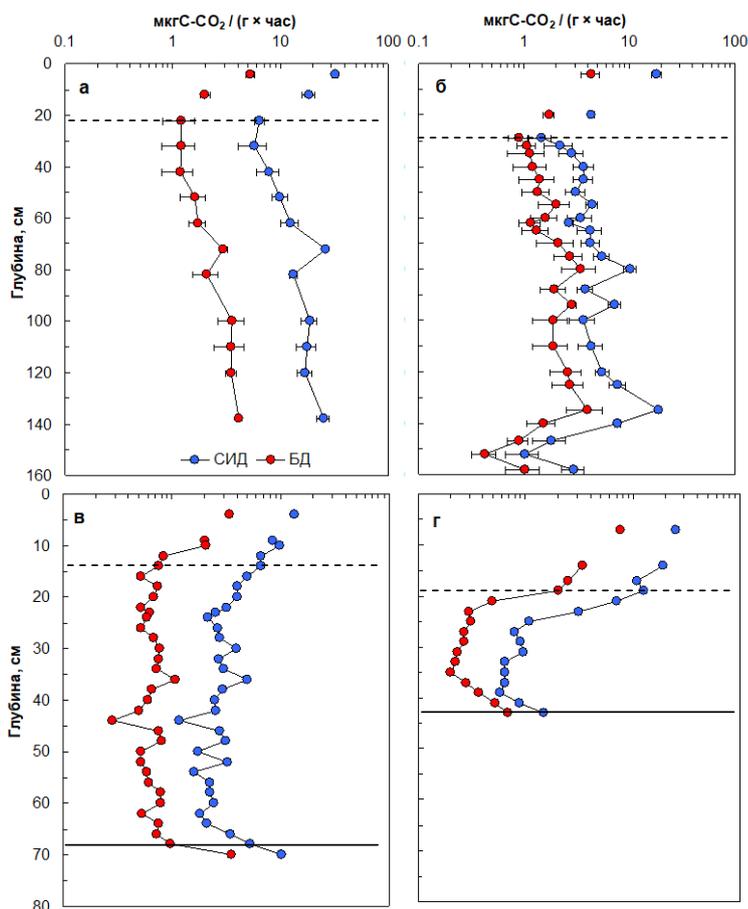


Рисунок 1 – Распределение скоростей СИД и БД по глубине профиля плоскобугристых торфяников для зимнего периода в мерзлой толще – (а) «Кутузовская тундра» (КТ) и б) «Малая Гравийка» (МГ) и для летнего периода в сезонно талом слое – в) «Гравийка» (Г) и г) «Малая Гравийка». Пунктирной линией обозначена граница мохового очеса, сплошная линия – граница сезонно-талого слоя на момент отбор проб.

Одним из общих подходов к оценке степени разложения торфа является анализ отношения С к N, который базируется на обогащении N относительно С в ходе минерализации органического вещества. Наиболее высокие значения C/N в исследованных торфяных залежах отмечены в верхней части профиля, отражая его меньшую степень минерализации. В целом, значения C/N уже (18.7–23 средние по профилю), чем в полигональных торфяниках Центрального Ямала (28–60) и на Чукотке (31–39) и сравнимы с таковыми на полярном Урале, что демонстрирует более высокие скорости минерализации и возрастание степени разложения торфа. Регрессионный анализ выявил прямую достоверную связь скоростей СИД и БД профилей плоскобугристых торфяников с соотношением C/N ($R^2=0.77-0.93$, $p<0.01$), а также обратную связь с содержанием N ($R^2=0.45-0.75$, $p<0.05$). Состав стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}C$) демонстрирует незначительные вариации, как по глубине профиля, так и среди рассматриваемых вариантов торфяников. Существенно более выраженными флуктуациями по профилю характеризуется состав стабильных изотопов азота ($\delta^{15}N$). Дыхательная активность торфяников при этом обнаруживает достоверную связь с $\delta^{15}N$ ($R^2=0.79$ и 0.73 , $p<0.01$ для СИД и БД) только в торфяной залежи Г.

Потенциальная дыхательная активность в многолетнемерзлых торфяниках субарктической зоны Центральной Сибири демонстрирует общие закономерности в ее стратификации по глубине профиля, характеризуясь зависимостью от соотношения C/N, а также накоплением лабильного углерода в надмерзлотном слое и в процессах замерзания-оттаивания.

УДК 551.34

АКТИВНЫЙ СЛОЙ ПОЧВ ЯМАЛЬСКОЙ ЛЕСОТУНДРЫ: ИЗМЕНЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОТАИВАНИЯ ЗА 12 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ

Валдайских В.В.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, v_vald@mail.ru

С 2012 года проводится ежегодный мониторинг протаивания и непрерывный контроль температуры профиля почв северо-западной окраины Западно-Сибирской равнины левобережья реки Оби вблизи г. Лабытнанги (ЯНАО). Исследования направлены на выявление устойчивых связей между растительностью и почвами в различных ландшафтах экотонной лесотундровой зоны Западной Сибири, дифференцированных прежде всего по степени дренируемости, в условиях климатических изменений. Одна из основных задач – верификация индикационных возможностей растительности для оценки состояния и глубины залегания многолетней мерзлоты криогенных почв.

С начала XXI века среднегодовая температура воздуха в районе расположения мониторинговых площадок (по данным г. Салехард) ежегодно увеличивается в среднем на 0,13 °С, при этом зимние температуры растут быстрее летних – в среднем на 0,15 °С в год зимой против 0,06 °С летом. Увеличивается количество осадков (среднегодовое – на 2,0 мм/год, летних осадков – на 5,4 мм/год). Наблюдается меньшее количество отрицательных температур (ежегодно теплее в среднем на 32,4 °С в год), стабильно растет сумма активных температур (в среднем плюс 14,5 °С в год), достигнув по этим показателям уровня, близкого к условиям северной тайги.

Промеры проводили с помощью щупа, на постоянных пикетах ($n = 121$ на каждой площадке), в трехкратной повторности, на трех мониторинговых площадках в разных местоположениях по степени дренируемости почв. Две исследуемые площадки из трех входят в базу данных CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring) под номерами R56 (Октябрьский) и R57 (Лабытнанги). Промеры производились до окончания теплого сезона, но в одни и те же сроки (в середине августа). С 2017 г. измерения дублируются аналогичными промерами в конце теплого периода – в последней декаде сентября. По материалам 12-летних измерений протаивания сезонно-талого слоя наблюдается устойчивый тренд к его увеличению, особенно в хорошо дренируемых ландшафтах на легких почвообразующих породах. Так, под Al-Fe-гумусовыми подзолами иллювиально-железистыми (Albic Gleyic Podzol) пятнисто-медальонных тундр на песках увеличение глубины протаивания составляет в среднем 9,0 см/год. В малодренируемых ландшафтах бугорковатых тундр на суглинках, под тундровыми криогенно-глеевыми почвами различной степени оторфованности (Turbic Cryosols Reductaqueie или Cryic Histosols), эта величина достигает 3,8 см/год. В случае ненарушенного теплоизолирующего слоя торфяных горизонтов под глинистыми болотными криогенными торфяными или торфяно-глеевыми почвами (Histic Cryosol) плоскобугристых болот – 0,7 см/год (рисунок). На всех изучаемых площадках получены инструментальные данные, характеризующие непрерывный годовой ход температуры изучаемых почвенных профилей. Наблюдается стабильное увеличение средней температуры почвенного профиля, главным образом – песчаных хорошо дренируемых почв.

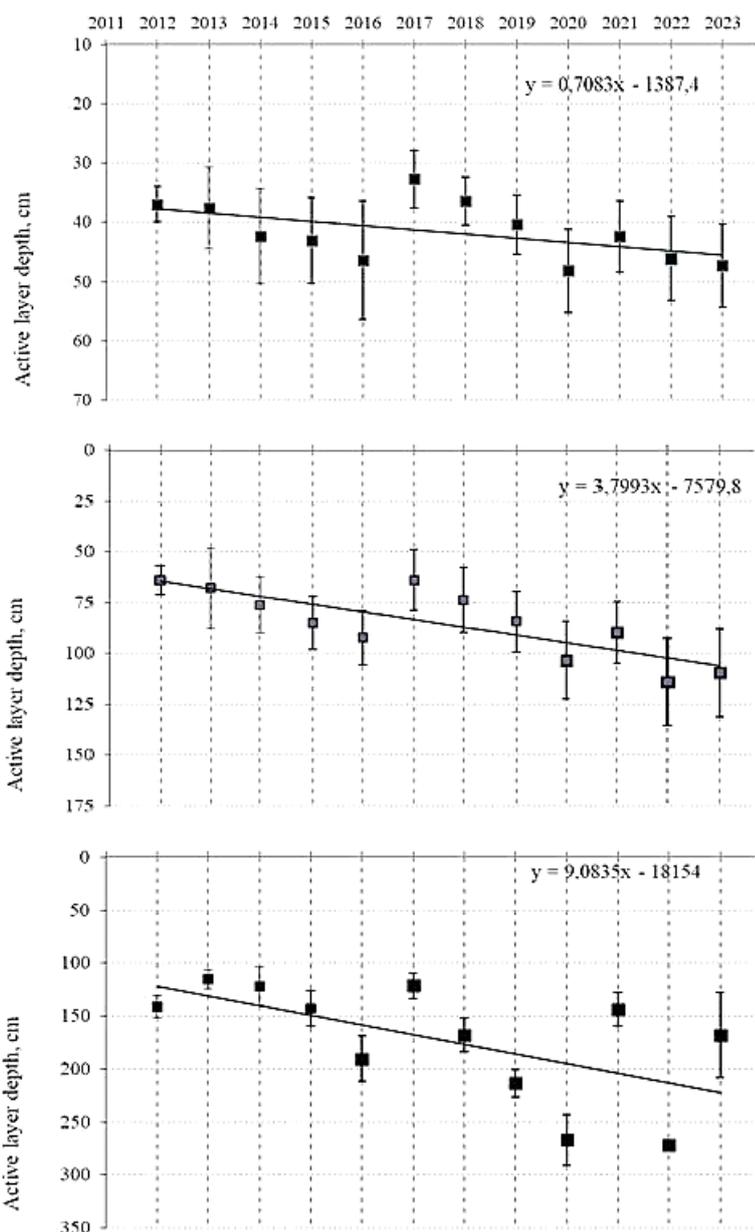


Рисунок – Изменение глубины сезонного протаивания с 2012 по 2023 гг., сверху вниз: глины, плоскобугристое болото; суглинки, бугорковатая тундра; супеси, пятнисто-медальонная тундра

Наши исследования не показывают однозначной связи динамики сезонного протаивания с каким-либо конкретным погодным фактором. Глубина сезонного протаивания детерминирована в более значительной мере, нежели погодными факторами, мезорельефом и гранулометрическим составом почвообразующих пород.

Высокая скорость увеличения слоя сезонного протаивания в лесотундре Западной Сибири, в особенности хорошо дренируемых песчаных почв, должна быть учтена при составлении прогнозов деградации мерзлоты – значительная часть объектов инфраструктуры криолитозоны Западной Сибири расположена на таких грунтах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема Государственного задания FEUZ-2024-0011. Выражаем благодарность Арктическому научно-исследовательскому стационару (г. Лабытнанги) Института растений и животных УрО РАН за помощь в организации исследований.

УДК 504.03.054

ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОЧВЫ

Вертянкина В.Ю., Трунов А.А.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. академика Ю. А. Израэля», Москва, victoria_vert@mail.ru

Согласно Рамочной конвенции ООН по изменению климата (РКИК) (РКИК, 1992) и Парижскому соглашению (Парижское соглашение, 1992) страны участники РКИК обязаны предоставлять ежегодную отчетность по оценке выбросов парниковых газов, таких как CO₂, CH₄, N₂O и другие. В соответствии со своими обязательствами Российская Федерация ежегодно обновляет, публикует и предоставляет Конференции Сторон через ее секретариат национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями всех парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом.

В 2022 году суммарные выбросы парниковых газов от аграрного сектора РФ составили 119778 тыс. тонн CO₂-экв., что соответствует 47,8 % уровня 1990 года (250 735 тыс. тонн CO₂-экв.). Вклад закиси азота в общие сельскохозяйственные выбросы был выше (60,5%) вклада CH₄ – 38,8%, вклад CO₂ составляет около 0,7%. К наиболее значимым источникам в аграрном секторе Российской Федерации относятся прямой выброс закиси азота от сельскохозяйственных почв (55116,0 тыс. тонн CO₂-экв.) (Национальный доклад о кадастре, 2024).

Основными источниками выбросов закиси азота от сельскохозяйственных почв являются: внесение минеральных азотных удобрений; внесение органических удобрений; навоз, оставленный животными на пастбищах; запахивание на полях пожнивных и корневых растительных остатков сельскохозяйственных культур; минерализация/иммобилизация азота, связанная с потерями/накоплением почвенного органического вещества; органогенные почвы.

Оценка прямых выбросов N₂O в результате внесения минеральных азотных удобрений осуществляется согласно рекомендуемой методике МГЭИК (МГЭИК, 2006), соответствующей Уровню 2. Для оценки выбросов в результате внесения минеральных удобрений были разработаны уточненные национальные коэффициенты для разных типов почв (дерново – подзолистые почвы и черноземы) (Romanovskaya et al., 2002). Уточненные национальные коэффициенты эмиссии закиси азота были получены согласно анализу литературных данных по определению газообразных потерь N₂O в полевых и лабораторных опытах на разных типах почв.

Данные по количеству вносимых азотных минеральных удобрений в сельскохозяйственные почвы на территории Российской Федерации были получены согласно официальным статистическим сборникам Росстата (<http://www.gks.ru>).

По данным Национального кадастра прямой выброс закиси азота от сельскохозяйственных земель в результате внесения азотных минеральных удобрений в 2022 году всего составил 46,85 тыс. тонн N₂O, для черноземов – 27,63 тыс. тонн N₂O, для дерново – подзолистых почв 11,97 тыс. тонн N₂O и 7,25 тыс. тонн N₂O для других типов почв.

Косвенные выбросы закиси азота от сельскохозяйственных почв в 2022 году составили 8,56 тыс. тонн N₂O от атмосферных выпадений и 24,69 тыс. тонн N₂O в результате вымывания соединений азота из почвы.

В рамках выполнения работ Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) планируется проведение работ по уточнению оценок выбросов закиси азота в результате внесения минеральных азотных удобрений на сельскохозяйственных почвах с использованием метода моделирования.

УДК 574.4:631.47

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМОДЕЛЬНОГО АНСАМБЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ МЕТАНА ПОЧВАМИ: ПРИМЕР ЭКОСИСТЕМ НА ЧЕРНОЗЕМАХ
Глаголев М.В.^{1,2,3}, Карелин Д.В.⁴, Суховеева О.Э.⁴, Сабреков А.Ф.³

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, m_glagolev@mail.ru;

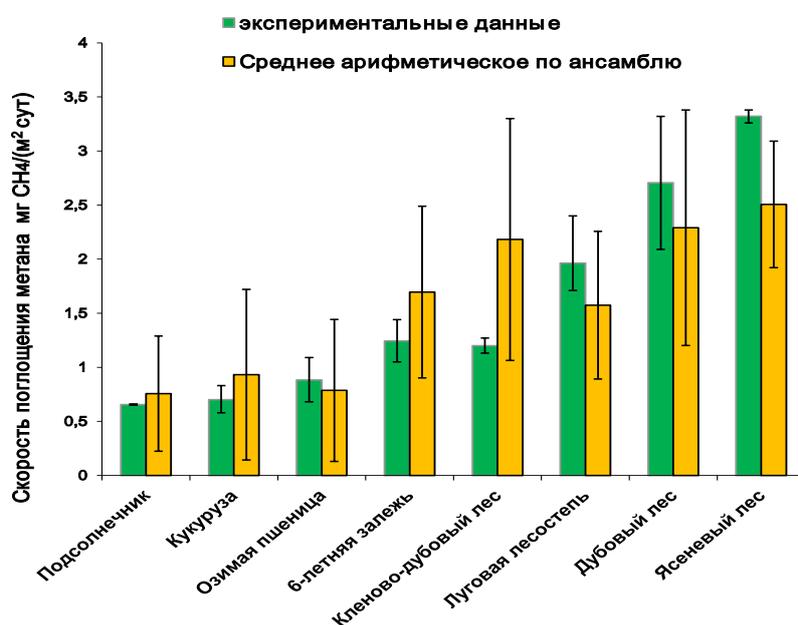
²Институт лесоведения РАН, Успенское (Московской области);

³Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, sabrekovaf@gmail.com,

⁴Институт географии РАН, Москва, dkarelin7@gmail.com, olgasukhoveeva@gmail.com

Метан (CH₄) – один из важнейших парниковых газов, образующийся в биосфере там, где есть нехватка кислорода. Вклад метана в современное потепление оценивается в 19% (Бюллетень ВМО по парниковым газам, 2023). Почвенный сток CH₄, особенно в свете его возможного усиления к концу века [Zhuang et al., 2013], является существенной составляющей, как цикла самого метана, так и цикла органического углерода. Для количественного учета потребления атмосферного метана почвами разработан целый ряд математических моделей [Curry, 2007, Zhuang et al., 2013; Murguía-Flores et al., 2018 и др.], которые являются эффективным инструментом для работы с пространственно-временной неоднородностью, и способны дать обоснованные оценки регионального и глобального поглощения метана почвами. Однако наряду с использованием индивидуальных моделей, в различных научных дисциплинах обсуждается совместное использование моделей в «коллективе» (ансамбле) – как средства наиболее полного учета априорной информации [Larco, 2002]. В XX веке идея о коллективном подходе при формировании прогнозов претерпела развитие от необходимости использования заключений нескольких независимых экспертов [Sanders, 1963] до формализованного ансамблевого математического моделирования [Hagedorn et al., 2005]. Идея преимущества ансамблевого подхода базируется на предположении, что «два или более неточных, но независимых предсказания одного и того же события могут быть некоторым образом скомбинированы так, что их “суммарный” прогноз, в среднем, окажется более точным, чем любой из этих индивидуальных прогнозов» [Hagedorn et al., 2005]. Из-за неопределенностей, сопровождающих точное описание физиологии и биохимии метанооксиляющих микробов, биологически обоснованные модели поглощения метана трудно сформулировать, а численные значения их биокинетических параметров - корректно идентифицировать [Curry, 2007]. В то же время эмпирические модели ([Potter et al., 1996; Ridgwell et al., 1999; Curry, 2007; Murguía-Flores et al., 2018]) нередко демонстрируют вполне разумные оценки суммарного потребления метана почвами планеты. Мы предположили, что использование ансамбля моделей (АМ) может улучшить ситуацию не только в случае глобального или крупно-регионального моделирования, но и в масштабе отдельного исследовательского полигона. Целью настоящей работы явилось построение АМ, описывающего поглощение метана почвой, и проверка эффективности его работы для произвольно выбранного исследовательского полигона. Нами были воспроизведены алгоритмы пяти известных имитационных моделей поглощения метана почвами (Dörr et al. [1993] в модификации Glagolev, Filippov [2011], модель Ridgwell et al. [1999] и Curry [2007], схема расчета потребления атмосферного CH₄ в «метановом» блоке модели DLEM [Tian et al., 2010], модель MeMo без автохтонных источников CH₄ [Murguía-Flores et al., 2018],) и проведен их критический анализ. При выборе моделей, оставляющих ансамбль, постарались учесть требование об их независимости. В качестве входных данных использовались полевые высокоточные измерения поглощения метана (Picarro G4301) в природных и антропогенных экосистемах Курской области на черноземах (широколиственные леса, луговая степь, культуры на многолетних пашнях, молодая залежь). Как и ожидалось, индивидуальные модели предсказывали результаты полевых измерений CH₄ хуже, чем ансамбль. Для различных типов средних (среднее квадратическое, кубическое, биквадратическое и др. [Gini, Barbensi, 1958]) используемых при усреднении

результатов ансамблевого моделирования, а также для отдельных моделей рассчитали коэффициент несовпадения Тейла (КТ). Результаты работы ансамбля, усредненные различным образом, характеризовались КТ от 0.156 до 0.267. Наилучший результат (0.156) был получен для среднего арифметического и среднего степенного. К сожалению, последнее неконструктивно в том смысле, что оптимальный показатель степени не может быть задан априори, а подбирается по критерию наилучшего описания экспериментальных данных. Медиана, против ожиданий, дала не столь хороший результат (0.222). Построенный ансамбль без какого-либо подбора параметров удовлетворительно описал поглощение метана различными экосистемами Курской области (рисунок). Средняя по всем экосистемам относительная ошибка имитации составила 36%, а средний разброс экспериментальных данных – 26%, хотя при измерениях поглощения CH_4 он обычно составляет многие десятки процентов ([Crill, 1991, Ambus, Robertson, 2006; Kleptsova et al., 2010; Glagolev et al., 2012]), в связи с чем полученную погрешность имитации можно признать вполне удовлетворительной. Проверка различных способов объединения результатов отдельных моделей в ансамбле (из числа способов, которые могут быть выполнены без подбора параметров по экспериментальным данным) показала, что наилучшие результаты демонстрирует простейший оператор: среднее арифметическое. Тем не менее, построенный ансамбль дает достаточно большой доверительный интервал прогноза ($\pm 56\%$ при 90%-ной вероятности). Обсуждаются оценки суммарного поглощения метана автоморфными почвами России по сравнению с оценками выделения метана гидроморфными почвами. Работа выполнена в рамках Важнейшего Инновационного Проекта Государственного Значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).



УДК 631.4

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРФЯНЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РЕСПУБЛИКИ КОМИ В ГОЛОЦЕНЕ

Горбач Н.М.^{1, 2}

¹СГУ им. Питирима Сорокина, Сыктывкар, nikolay.tbo@yandex.ru;

²ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Торфяные олиготрофные почвы являются архивами, хранящими информацию о климатических и экологических изменениях на протяжении их развития. Большая часть торфяных почв исследуемого региона начали развиваться уже в послеледниковый период, что привело к накоплению информации об изменениях в голоцене. Тем не менее, имеющейся в торфяных почвах информации достаточно, чтобы наиболее точно идентифицировать ближайшие к настоящему времени значительные климатические изменения.

Цель работы заключалась в реконструкции динамики пожаров северо-западной части Республики Коми в голоцене на основе анализа пирогенных включений в торфяных олиготрофных почвах. Согласно поставленной цели, необходимо было выполнить следующие задачи: провести радиоуглеродную датировку исследуемых почв, установить содержание макрочастиц по всей глубине торфяной толщи, выявить периоды голоцена с повышенной пирогенной активностью.

В пяти точках Северо-востока европейской части России (Республики Коми) проведен комплексный педоантропоэкологический анализ торфяных олиготрофных почв (Fibric Histosol, FH). Отбор почвенных колонок с ненарушенной структурой проводился с применением торфяного бура с длиной и диаметром пробоотборника 50 и 3 см, соответственно.

Радиоуглеродный анализ выполнен с применением жидкостно-сцинтилляционного радиометра Quantulus (Wallac, Финляндия) в ТомЦКП Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН). Калибровка радиоуглеродного возраста в календарный возраст произведена с помощью программы CALIB REV – 8.2. Для анализа и реконструкции динамики пожаров был произведён подсчёт макроскопических частиц (макрочастиц) угля с предварительным обесцвечиванием органики 5% раствором гипохлорита натрия. Далее объем полученной информации обрабатывался с применением программы CharAnalysis в среде программирования R (Free Software Foundation, USA).

Установлено, что FH–I, расположенный севернее остальных (66°91'62" N, 51°89'34" E), мощностью в 305 см начал развитие около 10260 календарных лет назад (кал. л. н.). Захватив большую часть голоцена, FH–I явился наиболее информативным архивом, среди всех исследуемых почв в данной работе. Выявлено 12 пожаров локального уровня, 10 из которых прошли в бореальном и атлантическом периодах (оптимум голоцена). Два пожара прошли в субатлантический период. Установлено, что наиболее высокая скорость аккумуляции макрочастиц угля характерна для оптимума голоцена. На точке FH–II (66°91'62" N, 51°89'34" E) торф мощностью 185 см начал развитие около 9020 кал. л. н. За все время болото или близлежащие участки подвергались пожарам 10 раз. Пять пожаров прошло в бореальный и атлантический периоды. В суббореальный и субатлантический периоды прошло два и три пожара, соответственно. Наиболее высокая скорость аккумуляции макрочастиц угля выявлена во время оптимума голоцена. Болото FH–III (65°92'77" N, 52°67'32" E) мощностью 225 см начало развитие около 3800 кал. л. н. В толще торфа удалось установить пять пожаров локального уровня, прошедших в суббореальный период. В суббореальный период также установлена высокая скорость аккумуляции постпирогенных включений. На точке FH–IV (65°35'17" N, 52°51'15" E) торф мощностью 243 см начал развитие 8140 кал. л. н. Диагностировано 9 пожаров локального уровня. Четыре из них прошли во время оптимума голоцена, два в суббореальном и три в субатлантическом периодах. Установлена высокая скорость аккумуляции макрочастиц угля в оптимуме голоцена, но пиковое значение показано в промежутке между 3000 и 2000 кал. л. н. На точке FH–V мощностью 203 см и возрастом в 6115 кал. л. н. установлено 10 пожаров локального уровня. Из них 3 и 4 прошли в атлантическом и субатлантическом периодах, соответственно. Три пожара прошли в суббореальный период. Наиболее высокая скорость накопления макрочастиц характерна оптимуму голоцена и концу атлантического периода.

В результате комплексного педоантропоэкологического анализа установлено, что концентрация и скорость аккумуляции макрочастиц были высокими в период оптимума голоцена

(бореальный и атлантический периоды), что свидетельствует о высокой пожарной активности. Вероятно, частые и интенсивные пожары возникали в наибольшей степени при благоприятных климатических условиях, гидрологическом режиме и таксономическом составе. Известно, что на исследуемой территории во время оптимума голоцена средние значения температуры были выше современных на 2–3°C. Из этого следует, что при вероятном повышении температуры на 2–3°C и подходящих сопутствующих условий стоит ожидать похожую на оптимум голоцена пожарную динамику. Выявлено, что на начальной стадии развития болота скорость аккумуляции макрочастиц угля резко возрастает. Можно предположить, что пожар привел к изначальному процессу заболачивания территории. Работа выполнена в рамках бюджетной темы ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН 122040600023-8.

УДК 574

ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ПОЧВЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОСЕВНОЙ КОНОПЛИ *CANNABIS SATIVA* L.

Данилова Н.В.

Казанский федеральный университет, Казань, natasha-danilova91@mail.ru

Предотвращение глобального изменения климата путем секвестрации углерода атмосферы с использованием биотехнологий является одной из наиболее важных природоохранных задач современности. Создание плантаций с растениями-суперпоглопителями углерода, например, посевной конопли, рассматривается как одно из возможных вариантов решения такой задачи. Такие растения стимулируют микробную биомассу почв и способствуют микробной эмиссии углерода, однако в собственной биомассе секвестрируют столько углерода, что баланс этих процессов становится отрицательным. Неизвестным до настоящего времени остается вопрос об углеродном следе указанных биотехнологий в условиях повышенных температур окружающей среды.

В настоящей работе рассмотрены процессы секвестрации и эмиссии углекислого газа при выращивании растений-суперпоглопителей углерода (посевной конопли *Cannabis sativa* L.) на серой лесной почве в климатических условиях, характерных для средней полосы России (15 °C), а также в условиях повышенных температур (20 и 30 °C).

Для вегетационного тепличного эксперимента была использована серая лесная почва. В качестве растения-секвестратора углерода в почву были засеяны семена посевной конопли (*C. sativa* L.) сорта «Надежда», допущенные к использованию на территории РФ (<https://gossortrf.ru/>). Семена предварительно проращивали до стадии ростка на вермикулите. Были подготовлены два варианта – почва без растений (контроль) и почва, засеянная коноплей. Каждый ящик содержал почву в количестве 40 кг и растения посевной в количестве 3 штук. Инкубирование осуществляли в течение 98 суток при разных температурных режимах – 15, 20 и 30 °C. Для каждого температурного режима было подготовлено по 3 повторности контрольной почвы и почвы, засеянной посевной коноплей. В результате были получены следующие варианты – П15, П20, П30 (контрольная почва) и К15, К20, К30 (почва под посевной коноплей).

Респираторную активность микробного сообщества почвы оценивали на 1, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84 и 98 сутки инкубирования с помощью инфракрасного газоанализатора CDL 210 (Wohler, Германия). Микробную биомассу почвы оценивали на 1, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84 и 98 сутки инкубирования согласно ISO 16072:2002 с использованием газовой хроматографии. Биомассу растений посевной конопли измеряли на 98 сутки. Растения освобождали от почвы и сушили при температуре 20 °C. После 10 дней высушенную биомассу взвешивали. Содержание общего и органического углерода определялось на термоградиентном анализаторе углерода LECO RC 612 (LECO Instruments, США) согласно ISO 10694:1995. Детекция CO₂ осуществлялась ИК-ячейкой прибора. Содержание углерода в образцах определялось в процессе термического разложения при температуре 450 °C на основании

площади пика. В качестве стандартов калибровки использовался карбонат кальция производства LECO (США).

На 1 этапе была оценена кумулятивная респираторная активность контрольной почвы при разных температурных режимах за весь вегетационный период (98 суток). Эмиссия углекислого газа была ниже при более холодной температуре инкубирования почвы (15 °С) и составила 1,88 г СО₂/м². При более высоких температурах (20 и 30 °С) эмиссия углекислого газа была выше и составила 2,71 и 2,59 г СО₂/м² соответственно.

Далее было оценено влияние посевной конопли на эмиссию углекислого газа из почвы при разных температурных режимах. В целом, при выращивании конопли выбросы углекислого газа из почвы были выше по сравнению с контрольной почвой и составили 113, 110 и 124% при 15, 20 и 30 °С, соответственно. Было отмечено влияние более высокой температуры на эмиссию углекислого газа: при 30 °С она была на 11–13% выше, чем при 15 и 20 °С.

Далее было оценено влияние различных температурных режимов на биомассу посевной конопли. При более холодных температурах (15 и 20 °С) биомасса конопли достоверно не отличалась и составила в среднем 13,32 и 12,66 г соответственно. При повышении температуры инкубации почвы биомасса конопли оказалась выше и составила 16,75 г. Таким образом, высокая температура (30 °С) оказала благоприятное влияние на наращивание биомассы.

По мере увеличения температуры инкубирования почвы наблюдалось увеличение биомассы микроорганизмов. Так, в течение всего периода инкубации (98 суток) в контрольной почве биомасса микроорганизмов составила 0,56–0,91, 0,72–1,92 и 1,99–3,80 мг/кг при 15, 20 и 30 °С, соответственно. В почве под посевной коноплей микробная биомасса составила 0,51–0,95, 1,03–1,78 и 2,11–3,87 мг/кг при 15, 20 и 30 °С, соответственно. Значимых различий в микробной биомассе контрольной почвы и почвы, засеянной посевной коноплей, отмечено не было. Таким образом, наиболее благоприятной для функционирования микробного сообщества почвы оказалась температура равная 30 °С.

Далее был оценен баланс углекислого газа (ΔСО₂) в почве за период вегетации посевной конопли. Он учитывает эмиссию углерода из почвы, которая включает респираторную активность, выбросы от агротехники и выбросы от внесения азотных удобрений, а также количество углерода, накопившееся в почве в виде биомассы растений и органических удобрений. Поскольку в вегетационном эксперименте отсутствовало внесение в почву органических удобрений, для расчета баланса углерода была использована следующая формула:

$$\Delta\text{CO}_2 = \text{CO}_{2\text{агротехника}} + \text{РА} - \text{С}_{\text{биомасса}},$$

где ΔСО₂ – баланс углерода, СО₂агротехника – выбросы углерода от использования топлива для агротехники, РА – респираторная активность почвы, С_{биомасса} – углерод растительной биомассы.

В течение вегетационного периода суммарные выбросы углекислого газа при проведении агротехнических работ составили 399,7 кг/га (и не зависят от температурных условий).

Суммарная эмиссия углекислого газа в виде респираторной активности из почвы, засеянной посевной коноплей, в пересчете на 1 га составила 21,28, 30,01 и 32,13 кг/га при температуре 15, 20 и 30 °С, соответственно.

Далее было подсчитано количество углерода, которое аккумулировалось в биомассе посевной конопли за вегетационный период. Содержание углерода на 1 т посевной конопли составляет 445 кг, при этом для средней полосы России густота посадки растений составляет 4,8 млн семян на 1 га почвы. При температуре 15 °С содержание углерода в биомассе конопли составило 9486,21 кг/га, при температуре 20 °С – 9013,92 кг/га и при температуре 30 °С – 11922,44 кг/га.

Таким образом, в данной работе продемонстрировано, что несмотря на то, что конопля стимулирует деятельность микроорганизмов в почве и повышает таким образом объём

эмиссии углекислого газа, она нивелирует этот процесс накоплением углерода в собственной биомассе, делая баланс углерода отрицательным. Показано, что отрицательный баланс сохраняется и даже увеличивается и при повышении среднесуточной температуры воздуха, прогнозируемой в будущем.

«Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004»

УДК 631.423.6:631.82

МИКРОБНОЕ ДЫХАНИЕ ПОЧВ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА МГУ «ЧАШНИКОВО» ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕЛИОРАНТОВ

Деревенец Е.Н., Кулачкова С.А., Сорокин А.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, lizaderevenets@yandex.ru

В настоящий момент в связи с глобальным изменением климата актуален поиск решений по снижению концентрации диоксида углерода (CO_2) в атмосфере за счет сохранения и увеличения поглощающей способности лесов, почв и других естественных поглотителей парниковых газов, что отражено в Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Почвы являются важным компонентом циклов парниковых (климатически активных) газов, поэтому меры по сокращению эмиссии газов должны учитывать особенности и функции почв тех или иных регионов страны. Известно, что основные источники CO_2 в почвах – это микробное (гетеротрофное) и корневое (автотрофное) дыхание почв, при этом вклад микробного дыхания в эмиссию CO_2 почвами варьирует в широких пределах и может достигать 90-95%. Одним из способов снижения эмиссии CO_2 из почвы служит внесение мелиорантов, в частности, широкое использование в последнее время получил биоуголь – продукт сухого пиролиза, производимый в отсутствие кислорода при температуре от 400 до 900 °С. Наиболее распространены биоугли из лиственных и хвойных пород деревьев, травянистых растений – риса, пшеницы, а также из соломы, навоза домашнего скота и птичьего помета. Важно подчеркнуть, что влияние внесенного в почву биоугля на углеродный цикл в экосистеме тесно связано с реакцией почвенной микробиоты, в связи с чем важно исследовать его влияние на структуру почвенного сообщества микроорганизмов. Внесение биоугля, как правило, способствует увеличению базального дыхания, микробной биомассы, разнообразия бактериального сообщества почвы. Изменение почвенного микробного сообщества наряду с изменением физико-химических свойств почвы оказывает эффект на эмиссию парниковых газов – CO_2 , CH_4 и N_2O . Однако эффект зависит от условий и состояния компонентов окружающей среды, типа и дозы биоугля.

Цель исследования – оценить влияние различных доз биоугля на интенсивность базального дыхания почв карбонового полигона «Чашниково» в длительном лабораторном инкубационном эксперименте.

Объектом исследования выступили образцы верхнего серогумусового горизонта дерново-подзолистых и агродерново-подзолистых почв карбонового полигона «Чашниково», отобранные с глубины 0-10 см с 4-х пробных площадей: ПП №3 – вторичный лес, ельник папоротниково-снытьево-кисличный ($C_{\text{орг}}$ 2,1%, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4,3), ПП №4 – суходольный тимофеевко-таволговый разнотравный луг кисличный ($C_{\text{орг}}$ 2,0%, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,8), ПП №2 – многолетние злаковые травы 2-го года использования ($C_{\text{орг}}$ 1,7%, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6,5), ПП №6 – черный пар ($C_{\text{орг}}$ 1,8%, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6,1). Горизонты естественных почв были более кислыми и содержали немного больше $C_{\text{орг}}$, чем в агропочвы.

В эксперименте использовался биоуголь «Березняк Биочар» производства ООО «Вятская угольная компания», изготовленный из березовой древесины при температуре 500-600°С,

pH_{H₂O} 8,2, C 83,7%. Дозы биоугля выбраны на основе обзора литературы и рекомендаций по внесению биоугля для снижения эмиссии CO₂ из почвы.

Перед началом инкубационного эксперимента почву просеивали через сито 2 мм, растительные остатки удаляли. Навески воздушно-сухой почвы массой 10 г, в трехкратной повторности для каждого смешанного образца, помещали в флаконы объемом 100 см³, вносили сверху биоуголь (0%, 2%, 4% и 10% от массы почвы), увлажняли дистиллированной водой до влажности 60% от полной влагоемкости и предынкубировали в эксикаторе над дистиллированной водой в течение недели при температуре 22°C. После предынкубации измеряли базальное дыхание (БД) по выделению CO₂ нативной почвой через 3 часа и через 24 часа. Это было начальной точкой эксперимента. После этого флаконы открывали, проветривали, оставляли в эксикаторе. Измерения БД повторяли таким же способом на 3-и, 7-е, 14-е, 21-е и 28-е сутки. Влажность поддерживали на начальном уровне. Количественный анализ содержания диоксида углерода проводили на газовом хроматографе модели Кристаллюкс 4000М (НПФ «Мета-хром», Йошкар-Ола, Россия) с детектором по теплопроводности. Чаще всего скорость БД через 3 часа инкубации была выше или сопоставима со скоростью БД через 24 часа инкубации, далее рассматривается БД, рассчитанное за 3 часа инкубации.

Статистическую обработку данных проводили в программе StatSoft Statistica 12.0.

В начале эксперимента почвы луга характеризовались максимальной скоростью БД (2,33±0,11, среднее ±станд.откл), в почвах леса БД было меньше в 2,6 раз, в агропочвах в 3,1 раз. В течение месяца скорость БД всех образцов почв снижалась, что связано с ослаблением минерализации легкодоступного органического вещества в почвах. Сильнее всего интенсивность БД уменьшилась в почвах луга (в 3,3-4,8 раз), слабее – в почвах леса (в 1,3-1,9 раз), в агропочвах оно составило 2,3-3,3 раза.

В ходе проведенного эксперимента выявлено значимое влияние различных доз биоугля на интенсивность базального дыхания почв карбонового полигона «Чашниково» (на основе U-теста Манна – Уитни при уровне значимости 0,05). Наибольший эффект внесение биоугля оказало на почвы разнотравного луга карбонового полигона «Чашниково»: БД снижалось под влиянием биоугля в течение всего эксперимента, в максимальной степени через месяц (в 1,6-1,7 раза). При этом разные дозы имели почти одинаковое влияние. Через месяц после начала опыта произошло снижение БД по сравнению с контролем в почве лесного участка – в 1,1-1,3 раза. В агропочвах снижение БД под действием биоугля отмечалось эпизодически для доз 2 и 4%. В отличие от имеющихся в литературе сведений мы не выявили выраженного тренда на увеличение выделения CO₂ с ростом дозы биоугля.

Стоит отметить, что полученные результаты носят предварительный характер, эксперимент будет продолжен до установления достоверных закономерностей, но уже первые результаты показывают перспективы применения биоугля для регулирования продукции CO₂ в почвах карбонового полигона «Чашниково».

УДК 631.46

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОПОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЫХАНИЯ РАСТЕНИЙ

Дмитренко Г.Д.¹, Казарин Ю.К.¹, Нестерова О.В.¹, Бовсун М.А.¹, Нестеров В.В.²

¹ ДВФУ, Владивосток, dmitrenko.gd@dvfu.ru;

² МИФИ, Москва, n.v.2005@mail.ru

Существуют большое количество публикаций как в отечественной, так и зарубежной литературе, посвящённых оценке дыхания растений, измеряемого разными методами в полевых и лабораторных условиях. Наибольший интерес предоставляют методы прямого измерения дыхания растений с помощью газоанализаторов. Одной из проблем вычленения вклада надземной части растения в общий поток дыхания почв является сложность

разделения почвенного и растительного дыхания между собой. В таком случае одним из возможных вариантов создания измерительной системы может быть помещение растения в гидропонную установку, которая позволяет минимизировать вклад корневого дыхания, и конструирование специальной камерной системы для работы в режиме реального времени. Для исследования дыхания растений была создана установка для выращивания растений на основе гидропонной системы, в которой была возможность измерять дыхание растений без учета дыхания корневой системы.

Для оценки вклада надземной части растений были проведены измерения дыхания растений в режиме реального времени с помощью газоанализатора камерным методом в гидропонной установке авторской конструкции.

Гидропонная установка включала семь лотков с растениями, в каждом из которых находилось по семь растений. Искусственное освещение гидропонной установки, необходимое для роста и развития растений в лабораторных условиях имело регулировку интенсивности, что позволило оценить интенсивность дыхания растений при различном уровне освещения. Измерение дыхания растений осуществляется при помощи светопроницаемой камера авторской разработки. Для проведения лабораторных газоаналитических исследований использовался пятигазовый лазерный газоанализатор Picarro G2508 (Picarro Inc., Санта-Клара, Калифорния, США). Дискретность измерения газоанализатора составляет 53 измерения в минуту. Расчет потоков проводился в программе MS Excel. Для всех газов использовался расчет статистических характеристик по линейной зависимости изменения концентрации от времени экспозиции. Коэффициент детерминации R^2 использовался для оценки достоверности измеренных данных о потоке. Температура и давление воздуха в лаборатории, необходимые для расчета потока газа, измерялись с помощью погодного датчика Vaisala WXT520 (Vaisala, Хельсинки, Финляндия). Время экспозиции одного измерения составляло пять минут. Для обеспечения статистической достоверности результатов измерения проводились в пятикратной повторности. Измерение значений показателя фотоактивной радиации (уровня искусственного освещения) использовался датчик фотоактивной радиации LI-190R Quantum Sensor, LI-COR. В качестве модельного растения нами был выбран базилик листовой (*Ocimum basilicum*) сорта Emily производства нидерландской семеноводческой компании Enza Zaden. Эксперимент по исследованию процессов дыхания растений включал в себя три последовательных этапа: подготовка растительного материала, доращивание растительного материала и непосредственное исследование процессов дыхания растений.

Исследования показали, что с увеличением площади поверхности листьев значения потоков углекислого газа уменьшаются (рисунок 1).



Рисунок 1 – Изменение потоков углекислого газа в зависимости от площади поверхности листьев.

Это свидетельствует об увеличении степени влияния на потоки углекислого газа листьев с большей площадью по сравнению с листьями с меньшей площадью. Большая площадь листьев обуславливает большее количество устьиц растений на листе, а большее количество устьиц, в свою очередь, обуславливает большую интенсивность поглощения углекислого газа. При более высоком значении фотоактивной радиации потребление углекислого газа растением снижается (рисунок 2).

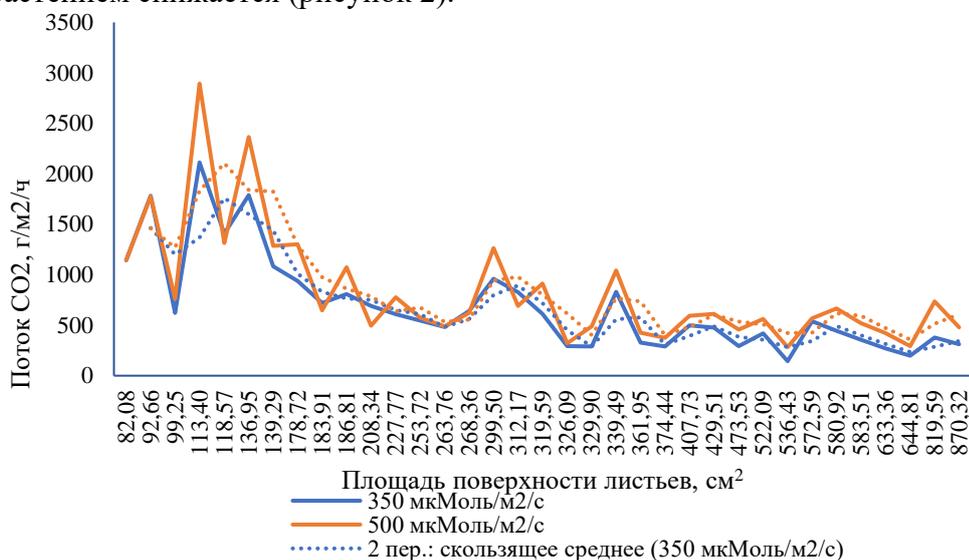


Рисунок 2. – Изменение потоков углекислого газа при разной интенсивности освещения. В целом, для моделирования лабораторных экспериментов по дыханию растений необходимо соблюдать следующие условия:

- наличие стабильных базовых параметров среды: температура, влажность, освещение и состав питательного раствора;
- наличие системы беспочвенной культивации с возможностью измерения камерным методом с полной изоляцией отдельного растения;
- однородный растительный материал или выборку растений, обеспечивающих как минимум трехкратную повторность для одного вида измерений.
- время измерения концентрации углекислого газа должно составлять не менее 5 минут.
- параллельное определение общей массы побега, массы и площади листьев растения.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2023-0019 «Оценка секвестрационного потенциала прибрежно-морских экосистем».

УДК 631.433.3

ФАКТОРЫ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ БУРОЙ АРИДНОЙ ПОЧВЫ

Замолодчиков Д.Г., Каганов В.В., Мостовая А.С.

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, e-mail

dzamolod@cepl.rssi.ru

Эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы является важным компонентом углеродного баланса в наземных экосистемах. Значения эмиссии сильно варьируют в зависимости от сезона года. Как правило, эти вариации связаны с температурой, что дает основания для представлений о росте почвенной эмиссии при глобальном потеплении климата. Другим важным фактором, контролирующим вариации почвенной эмиссии, является влажность почвы. Имеется много свидетельств, что в аридных экосистемах фактор влажности является более важным по сравнению с температурой. Цель настоящей работы

состояла в оценке сезонной динамики почвенной эмиссии CO₂ с поверхности бурой аридной почвы и выявлении факторов, контролирующих эту динамику.

Исследования проводили с марта по октябрь 2023 г. на территории Государственного природного заповедника Богдинско-Баскунчакский в Ахтубинском р-не Астраханской обл. Участки располагаются на территории бывшей Богдинской опытной станции «Зеленый сад», где в середине XX века изучали рост разнообразных древесных пород в условиях полупустыни. Измерения почвенной эмиссии проводили на двух участках, отличающихся по растительности. Лесное насаждение представляет собой узкую (до 12 м) защитную лесополосу из вяза приземистого, ориентированную с северо-запада на юго-восток. Под древесным пологом отмечаются марь белая и ковыль Лессинга. Растительность травяного участка, расположенного восточнее лесополосы, сильно изрежена и представлена преимущественно полынью малоцветковой и полынью Лерхе между экземплярами полыни отмечаются участки почвы, не покрытые растительностью. Фоновыми почвами объекта являются бурые аридные гипс-содержащие (Protic Gypsiric Arenosol).

Измерения осуществляли камерным методом с использованием портативного газоанализатора, смонтированного на базе сенсора AZ7752. Концентрацию диоксида углерода измеряли в пластиковых трубах диаметром 11 см и высотой 15-20 см. Трубы вкапывали в почву на глубину около 3 см не менее в начале сезона и удаляли надземные части растений перед каждым измерением. При измерении трубу герметично накрывали пластиковой крышкой, соединенной шлангами с газоанализатором и снабженной вентилятором. Экспозиция крышки на базе составляла около 2 мин., отсчеты концентрации диоксида углерода записывали через каждые 20 сек. Одновременно с измерениями потоков диоксида углерода регистрировали температуру приземного слоя воздуха на высоте 30 см и температуру почвы на глубине 10 см с помощью термометра Checktemp 1, а также объемную влажность почвы в слое 0-7 см с помощью влагомера NH2 путем прокола почвы сверху. На лесном и травяном участке использовали по 10 труб, измерения на каждой трубе проводили 3 раза за сутки (около 10:00, 14:00 и 18:00). При обработке сначала усредняли все значения, полученные на данном участке в данный срок, затем по трем срокам, характеризуя день. Единицей измерения потока CO₂ в настоящей работе выбраны г С м⁻² сут⁻¹ как наиболее часто употребляемые в научных публикациях. Всего за 2023 год измерениями были охвачены 9 дней с интервалами около месяца.

В качестве дополнительного фактора, который может влиять на величину почвенной эмиссии диоксида углерода, рассматривали нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI). Значения NDVI определены с помощью ресурса OneSoil для участков размером примерно 70×15 м (древесная растительность) и 50×20 м (травяная растительность), включавших точки измерения эмиссии.

В течение всего периода исследований на участке с древесной растительностью почвенная эмиссия была примерно в 2 раза выше (2.07 ± 0.63 г С м⁻² сут⁻¹), чем на травяном (0.99 ± 0.25 г С м⁻² сут⁻¹). Сезонные изменения эмиссии на разных участках характеризовались высокой синхронностью ($R=0.988$). Весь период измерений можно разделить на два интервала: март-июнь и июль-сентябрь. В первом интервале отмечены высокие значения эмиссии как на древесном (2.71 ± 0.88 г С м⁻² сут⁻¹), так и на травяном участке (1.46 ± 0.37 г С м⁻² сут⁻¹). За второй интервал средние величины эмиссии были в 2.5-3 раза меньше (1.20 ± 0.45 г С м⁻² сут⁻¹ на древесном и 0.42 ± 0.20 г С м⁻² сут⁻¹ на травяном участке). Резкое снижение эмиссии от июня к июлю можно связать с уменьшением влажности почвы (от 4.4% к 1.5% на древесном и от 2.80% к 1.00% на травяном участке). Отметим, что октябре-ноябре влажность почвы даже превысила значения марта-июня, составив 5.2-11.4% на древесном и 6.9-9.3% на травяном участке, однако это не привело к заметному повышению эмиссии.

Применение однофакторного линейного регрессионного анализа ко всему массиву полученных данных (то есть для древесного и травяного участков вместе) показал, что ни один из «классических» факторов контроля почвенной эмиссии (температура почвы и

влажность почвы) не оказывает статистически значимого влияния на значения эмиссии. Более того, использование двухфакторного анализа с температурой и влажностью почвы как независимых переменных также не выявило статистически значимого влияния ($R^2=0.15$, $P=0.12$). Однако добавление третьего фактора (NDVI) коренным образом изменило ситуацию и регрессионное описание приобрело статистическую значимость ($R^2=0.56$, $P<0.01$).

Использование температуры и влажности почвы (либо других характеристик гидрологического режима, например, осадков) является распространенным вариантом регрессионного описания сезонной динамики почвенной эмиссии в данном местообитании. Более трудной задачей оказывается учет пространственной изменчивости эмиссии, для учета которой могут привлекаться такие факторы, как запас углевода в почве или микробная биомасса. В нашем случае включение NDVI в число независимых переменных позволяет учесть часть вариации, создаваемой наличием двух участков, различающихся по растительности. Среднесезонный NDVI древесного участка примерно в 1.5 раза больше, чем травяного. NDVI отражает величину чистой первичной продукции, которая, в свою очередь, влияет на интенсивность дыхания корней и количество свежего органического вещества, поступающего в почву.

Проведенные исследования показали, что устройство лесополос на бурой аридной почве привело к двукратному повышению среднесезонной почвенной эмиссии CO_2 , при этом сезонные изменения эмиссии сохранили высокую синхронность на травном и древесном участках. В течение периода измерений ведущим фактором эмиссии выступала то температура, то влажность почвы. В итоге получить статистически значимое регрессионное описание удалось лишь с включением трех независимых переменных: температуры почвы, влажности почвы и NDVI.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.417.2

ДИНАМИКА ПРОЦЕССНЫХ ПУЛОВ УГЛЕРОДА В ЭВТРОФИЦИРОВАННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ В ПОЧВЕ

Зинякова Н.Б., Лебедева Т.Н., Соколов Д.А., Семенов В.М.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пушкино, nakhodkanbz@mail.ru

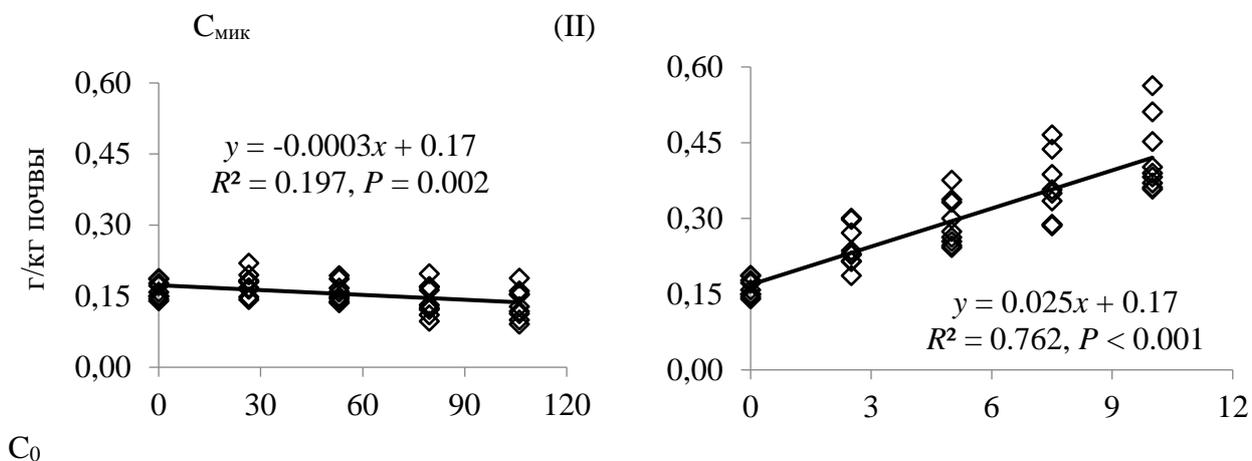
Крупнейшим резервуаром органического вещества, источником и стоком диоксида углерода является важнейшая эмерджентная система – почва. В почвенном органическом веществе предложено выделять процессные пулы, к которым относят микробную биомассу ($C_{\text{мик}}$) и потенциально-минерализуемое органическое вещество (C_0). Процессные пулы придают ПОВ реактивность, трансформируемость и биоактивность, выполняя физиологические, рециклирующие, эмиссионные и другие функции. Цель работы – оценить по динамике процессных пулов углерода $C_{\text{мик}}$ и C_0 количественные и качественные изменения органического вещества в серой лесной почве, эвтрофицированной ежегодным многолетним внесением минеральных и органических удобрений.

Исследования проводили в многолетнем микрополевым опыте на серой лесной почве (Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic)). Ежегодно на протяжении 9 лет применяли минеральные ($N\ 90\text{--}360$, $P_2O_5\ 75\text{--}300$ и $K_2O\ 100\text{--}400$ кг/га) и органические (свежий навоз крупного рогатого скота от 25 до 100 т/га) удобрения в возрастающих дозах. Повторность опыта трехкратная. Было проведено две ротации 5–польного севооборота культурных

растений, образцы почвы отбирали после уборки урожая. Содержание общего ($C_{орг}$) углерода и общего азота определяли с помощью CNHS-анализатора (Лесо 932) сухим сжиганием. Содержание в почве $C_{мик}$ определяли методом субстрат-индуцированного дыхания, а C_0 – биокинетическим способом по количеству $C-CO_2$, выделившегося в течение инкубации почвенных образцов при постоянных условиях температуры ($22^{\circ}C$) и влажности (25 вес. %). Продолжительность инкубации составляла около 180 сут. Измерение и анализ газовых проб проводили на газовом хроматографе КристалЛюкс-4000М (Россия), при вычислении содержания C_0 в почве использовали однокомпонентное уравнение кинетики первого порядка.

Содержание углерода в процессных пулах тесно коррелировало с $C_{орг}$, поэтому их следует считать основополагающими при мониторинге свойств и динамики ПОВ. Прирост запасов $C_{орг}$ в почве от NPK и навоза составил 5–10 и 38–83% соответственно. Внесение экстремальных доз навоза (от 700 до 900 т/га за 9 лет) вело к насыщению почвы органическим углеродом. Пул потенциально-минерализуемого углерода был всегда больше микробного пула в среднем в 3.5 раза, варьируя по годам без какой-либо отчетливой зависимости от вида и дозы удобрения. Для одних и тех же вариантов и сроков отбора образцов вариабельность содержания $C_{орг}$ в почве составляла 32%, а пулов $C_{мик}$ и C_0 соответственно 54 и 51%. Размеры пулов $C_{мик}$ и C_0 увеличивались с повышением дозы навоза и уменьшались с ростом доз NPK (рисунок).

Содержание $C_{мик}$ в почве в зависимости от вида и дозы удобрений, выращиваемой культуры, погодных условий года варьировало на протяжении 9 лет от 0.09 до 0.56 г/кг почвы, что составляло 0.8–3.7% от $C_{орг}$. В почве без удобрений и с навозом наблюдался небольшой ежегодный прирост $C_{мик}$ в 0.004 и 0.016 г/(кг год), тогда как систематическое применение NPK вело к снижению размеров микробного пула со скоростью 0.005 г/(кг год). Если увеличение доз навоза от умеренных до экстремальных способствовало накоплению микробной биомассы в среднем за 9 лет в 1.5–2.6 раза по сравнению с контролем, то небольшое положительное влияние в 1.1 раза умеренной дозы N1P1K1 сменялось уменьшением $C_{мик}$ в 1.2 раза при экстремальной дозе N4P4K4. Таким образом, возрастающие дозы NPK и навоза принципиально по-разному влияли на микробный пул почвы. В вариантах с экстремальными дозами минеральных удобрений происходило сильное сужение $C_{мик}/C_{орг}$ отношения. На микробную биомассу могло приходиться от 16 до 59% потенциально-минерализуемого (C_0) органического вещества. Доля $C_{мик}$ в C_0 уменьшалась в следующем ряду вариантов: без удобрений > чистый пар > органические удобрения > минеральные удобрения.



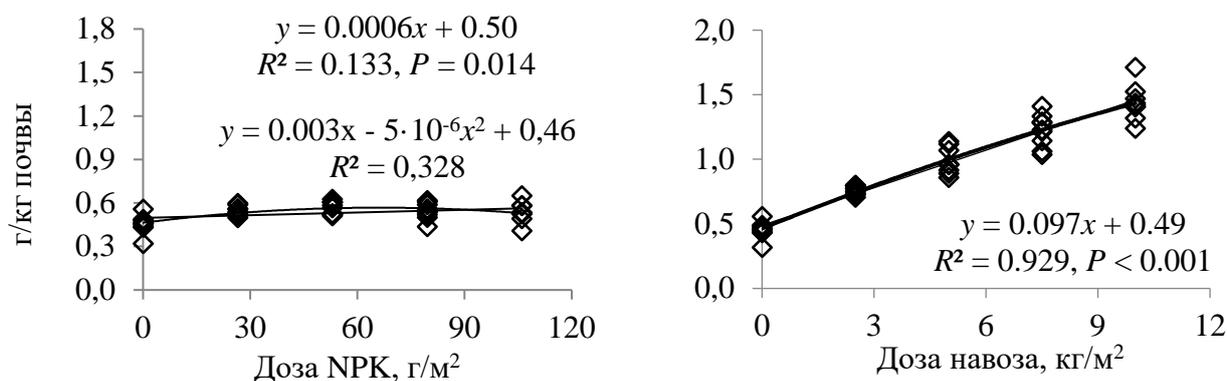


Рисунок. Влияние доз минеральных (I) и органических (II) удобрений на размеры пулов почвенного углерода. $S_{\text{мик}}$ – микробная биомасса, S_0 – потенциально-минерализуемое органическое вещество. I – минеральные удобрения от N0P0K0 до N36P30K40 г/м²; II – органические удобрения от 0 до 10 кг/м² свежего навоза.

В течение 9 лет опыта содержание S_0 в почве варьировало от 0.32 до 1.71 г/кг или от 2.8 до 13.7% от $S_{\text{орг}}$. В почве с минеральными удобрениями содержалось в среднем в 1.2 раза больше S_0 , чем в удобренной почве, но при ежегодном внесении NPK развивалась тенденция уменьшения размеров потенциально-минерализуемого пула ПОВ со скоростью 0.009 г/(кг год). Умеренные дозы NPK способствовали незначительному росту обеспеченности почвы S_0 , а экстремально высокие вызывали его снижение из-за отрицательного действия экстремальных доз минеральных удобрений на содержание микробной биомассы. В отличие от общего $S_{\text{орг}}$, 9-летнее внесение одной и той же дозы органического удобрения не давало кумулятивного прироста S_0 , поддерживая лишь тот уровень, который достигался применением соответствующей дозы навоза. Как следствие, единственным значимым фактором изменения S_0 в почве с органическими удобрениями была доза навоза. В целом содержание $S_{\text{мик}}$ в почве с NPK на 20% зависело от дозы и на 6% от длительности применения, а с органическими удобрениями – на 76% от дозы навоза и на 12% от длительности применения. Вклад продолжительности применения NPK в межгодовые колебания S_0 в почве равнялся 19%, а дозы NPK – 13%. Поэтому измерение процессных пулов дает дополнительные характеристики качества ПОВ и позволяет предсказывать эмиссионный потенциал почвы.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.4

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ДЫХАНИИ ПОЧВ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Иванов А.В.¹, Брянин С.В.¹, Салом М.А.², Романюк М.С.²

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, aleksandr86@mail.ru, fesau@mail.ru,

²Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск, salo_mihail@mail.ru, kato_27_1998@mail.ru

Дыхание почв – базовый процесс, характеризующий круговорот вещества в экосистеме (углеродный цикл). Будучи разделенным на автотрофную и гетеротрофную составляющие, оно является одним из слагаемых уравнения баланса углерода в биогеоценозах. Важно, что

поток углекислого газа с поверхности почвы лесных экосистем – очень изменчивый процесс, чувствительный как к естественным изменениям среды (суточные и сезонные изменения температуры и другое), так и к изменениям структуры сообществ, которые могут быть как длительными (восстановление лесного насаждения), так и скачкообразными (рубка). В настоящее время базы данных по почвенному дыханию все еще не достаточно репрезентативны, и получение новых данных из слабо изученных регионов является актуальной задачей.

Данные о дыхании почв были получены в трех лесных массивах на территории южной части Дальнего Востока: лиственнично-березовые леса Зейского заповедника (Амурская область), вторичные дубняки Сихотэ-Алинского заповедника (Приморский край) и кедрово-широколиственные леса лесного участка Приморского государственного аграрно-технологического университета (Приморский край). Пробные площади измерений в указанных лесных формациях имеют широту 54, 45 и 44 градуса соответственно. На всех участках леса сформированы на бурых лесных почвах. Среднегодовая температура за период измерений в лиственничнике, дубняке и кедровнике составила соответственно -0.8, 5.2 и 5.8, а сумма осадков 620, 1054 и 1012 мм соответственно. Измерения дыхания почв проводили камерным методом прибором на базе сенсора AZ на шести пластиковых основаниях на каждом участке с частотой два раза в месяц с мая 2023 г. по апрель 2024 г.

Суммарная годовая эмиссия на трех участках составила: лиственничник – 5.3 т С/(га год), дубняк – 6.8 т С/(га год), кедровник – 7.3 т С/(га год), что соответствует широтному градиенту расположения пробных площадей и соответствующим градиентам средних температур и осадков. Представленные данные получены на основе фактических значений потоков и их экстраполяции на месячные интервалы. Вклад летнего периода в ряду лиственничник-дубняк-кедровник составляет 66.8, 59.6, 57.9 %, что иллюстрирует естественную закономерность увеличения вклада летнего периода в годовой поток углекислого газа из почв с увеличением широты местности. На всех трех участках температура является ключевым предиктором дыхания, объясняя более 70% его сезонной изменчивости.

Лесные насаждения на пробных площадях представляют собой типичное состояние лесных формаций по ряду таксационных показателей древостоя. Поэтому полученные данные о дыхании почв могут быть интегрированы в имеющиеся отечественные и международные базы данных.

УДК 631.5:631.6:911.2

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

Иванов Д.А., Хархардинов Н.А., Курпас К.С.

Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал Федерального исследовательского центра «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Тверь, e-mail volok123@gmail.com

Проведен мониторинг урожайности (1998-2023 гг.) клеверотимофеечных травостоев 1 года пользования в пределах моренного холма с целью нахождения закономерностей влияния на нее погодных условий. Травостой эксплуатировались в условиях Тверской области без удобрений в одноукосном режиме на поле, разбитом на 120 делянок. С помощью регрессионного анализа определялись влияния временной вариабельности среднемесячных значений: среднесуточных температур, их амплитуды, суммы осадков и ГТК на урожайность сена многолетних трав.

Для сравнительной оценки степени воздействия всех изучаемых нами факторов на урожайность сена мы были вынуждены усреднить их значения по кварталам, что позволило создать ортогональные матрицы с числом предикторов равном 16 для каждого геокомплекса

с отдельным типом геохимической обстановки – агромикрорландшафта (АМЛ). Выявлено, что исследуемые факторы суммарно определяют около 43% временной вариабельность урожайности сена в агроландшафте. Отмечена максимальная зависимость урожая трав от характера изменчивости внутримесячных амплитуд температуры воздуха. Заметное влияние на него оказывают также колебание температуры воздуха и ГТК.

Характер коэффициентов уравнения регрессии, рассчитанного для всего агроландшафта конечно-моренной гряды, показывает, что урожайность трав возрастает при увеличении амплитуд температур в январе – марте и средней температуры воздуха в октябре – декабре года посева. То есть относительно теплые позднеосенние и раннезимние месяцы позволяют травостоя лучше подготовиться к перезимовке, а оттепели в середине зимы и начале весны пополняют запасы почвенной влаги – всё это способствует увеличению урожайности трав. Значительные перепады температуры весной и ранним летом приводят к снижению урожая сена вследствие, по-видимому, ускорения цветения трав и формирования генеративных органов в ущерб вегетативным.

В межхолмной депрессии, расположенной на юге полигона, в пределах которой господствуют песчаные почвы, наблюдаются закономерности, описанные выше, однако они выражены гораздо ярче вследствие более однородных условий природной среды.

В центральной части южного склона холма, где преобладают песчаные почвы различной степени смывости, негативное влияние на урожай трав оказывает повышение амплитуды температур летом и ранней осенью, а также предукосного периода.

Верхняя часть южного склона, где латеральные процессы выражены слабо, характеризуется прямопропорциональной зависимостью урожая от количества осадков в период посева трав и амплитуды температуры января – марта. Обратнопорциональная зависимость урожая отмечается с амплитудой температур в период укоса и ГТК при посеве.

На плоской вершине урожай сена увеличивается при возрастании ГТК в период апрель – июнь года укоса и уменьшается в случае жарких летних месяцев в год посева.

На северном склоне негативное влияние на урожай трав оказывает увеличение амплитуды температур воздуха, причем в его верхней части значительную роль играют условия конца осени и начала зимы, а в центре – предукосного периода.

В межхолмной депрессии на севере полигона, в которой преобладают относительно тяжелые почвы, положительное влияние на урожай сена оказывают увеличение средних температур осени и начала зимы, а также их амплитуды в период с октября по март. Однако значительный разброс температур в предукосные месяцы вредит травостоя.

Так как характер изменчивости амплитуды температур определяет наибольшую долю в вариабельности урожая трав, мы изучили это явление по месяцам.

Выявлено, что максимальное отрицательное влияние на урожай трав оказывают высокие амплитуды температур воздуха в августе и сентябре, что может быть объяснено выходом травостоя из-под покровной культуры и его интенсивным ростом в наиболее теплые дни, что может негативно сказаться на перезимовке трав. Наиболее сильно это явление проявляется в пределах южного склона холма.

Наибольшее положительное влияние на урожай трав оказывают февральские оттепели, которые приводят к накоплению влаги в пахотных горизонтах, что способствует интенсификации вегетации трав весной. Южный склон характеризуется наибольшей выраженностью этого процесса. Оттепели в марте – апреле оказывают негативное воздействие на травостой, так как провоцируют образование ледяных корок на поверхности почвы, которые повреждают узлы кущения травы. Наиболее сильно страдают от них травы на вершине холма и в верхней части его северного склона.

Жаркие дни мая – июня способствуют ускоренному созреванию трав, когда их генеративные органы развиваются за счет вегетативных частей, что снижает урожайность сена. Это явление наиболее сильно выражено в центральных частях южного склона.

В заключение можно отметить, что в условиях конечно-моренного ландшафта, расположенного в центральной части Нечерноземья, достоверное влияние на урожай клеверо-тимофеечного травостоя 1 года пользования оказывают колебания средней температуры воздуха, изменчивость ее внутримесячных амплитуд, вариабельность суммы осадков и значений гидротермического коэффициента. Суммарно эти параметры определяют около 43% вариабельности продуктивности трав, однако колебания амплитуд температур ответственны за 32% временной изменчивости урожая.

На урожай трав влияет вариабельность условий произрастания не только во времени, но и в пространстве. Негативное влияние на урожай значительных перепадов температур воздуха в течение месяца отмечается во всех агромикрорландшафтах, кроме плоской вершины, где он положительно реагирует на рост ГТК и отрицательно на увеличение температур воздуха предукосного периода.

Наибольшее отрицательное влияние на выход продукции (сена) оказывают перепады температур поздним летом и ранней осенью, особенно на южных склонах, что может приводить к интенсивному и неоднородному росту растений и затруднить их перезимовку. Также негативно влияют на травостой оттепели в марте, провоцирующие возникновение ледяной корки на поверхности почвы, повреждающей узлы кущения растений и жаркие дни в предукосный период, ускоряющие созревание трав и снижающие интенсивность накопления биомассы. Февральские оттепели, способствуя накоплению влаги в почве, приводят к увеличению урожая трав.

Возможно предложить некоторые технологические приемы, снижающие негативное влияние перепадов температур на урожай трав – это осеннее скашивание молодого травостоя, снегозадержание на лугах, и дождевание трав в наиболее жаркие дни предукосного периода для снижения температуры травяного покрова.

УДК 631.46

КОНТРАСТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИМЕНЕНИЕМ АНСАМБЛЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ T&P МОДЕЛЕЙ К ЛЕСНОЙ И ЛУГОВОЙ ЭКОСИСТЕМАМ В ЗОНЕ УМЕРЕННО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА

Кивалов С.Н., Курганова И.Н., Быховец С.С., Хорошаев Д.А., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Припутина И.В.

Институт Физико-Химических и Биологических Проблем Почвоведения РАН, Пущино
snk2105@gmail.com

Моделирование дыхания почвы (SR) представляется важной альтернативой прямым измерениям камерными методами из-за высокой пространственной неоднородности измерений и практической невозможности выделения достаточных ресурсов для охвата больших площадей. При этом рассматривается как моделирование с помощью простых эмпирических моделей, связывающих SR с температурой (T) и осадками (P), так и более сложных динамических моделей, основанных на имитации процессов, происходящих в почве.

Типы экосистем – лесная или луговая – играют важную роль в формировании температурно-влажностного режима и качества микробной биомассы почвы. Они также характеризуются разной разлагаемостью подстилки, которая определяется разницей в соотношении C/N. Все это напрямую влияет на различия SR, наблюдаемые между лесными и луговыми экосистемами.

Настоящее исследование направлено на выявление различий в моделировании SR ансамблем эмпирических моделей примененным к двум экосистемам – лесной и луговой, расположенных на одинаковом Дерновом подбуре в зоне хвойно-широколиственных лесов в Приокско-Тerrasном заповеднике (54°54' N, 37°33' E). Расстояние между двумя площадками

измерений составляет около 100 м с перепадом высот около 7,5 м между ними – пологий уклон 4 градуса в направлении восток-запад от участка леса к лугу и к близлежащей речке Сушка. Река Сушка расположена примерно в 300 м к западу-юго-западу и примерно 20 м ниже по склону от площадок. Это непосредственно влияет на водный режим площадок, так как грунтовые воды приближаются к поверхности луга, где почвенный профиль демонстрирует глеевые цвета на глубине 40 см из-за часто наблюдаемого заболачивания по сравнению с сухой лесной площадкой.

Дерновый подбур в исследуемых лесной и луговой экосистемах характеризуется сходной песчаной текстурой 85(песок):13(ил):2(глина), что обеспечивает хороший дренаж и низкую водоудерживающую способность около 40,5%. Верхний слой почвы в обеих исследованных экосистемах имеет сходные значения pH_{KCl} (4.22-4.55) и запасов азота (N) (0.2-0.21 кг N/м²), в то время как запас углерода (C) в лесной почве выше, чем в луговой (2.91 и 2.18 кг C/м² соответственно). Самое сильное различие между изученными почвами заключается в соотношении C/N, которое примерно на 50% больше для леса, что делает органический углерод в лесной почве (SOC) менее доступным для разложения микробной биомассы, чем для луга, из-за дефицита азота.

Рассматриваются следующие эмпирические модели дыхания почвы:

связывающие SR с T:

$$SR_T = R_0 e^{QT} \quad (1)$$

связывающие SR с T и P:

$$SR_{TP} = R_0 e^{QT} \left(\frac{P}{K+P} \right) \quad (2)$$

$$SR_{TPP} = R_0 e^{QT} \left(\frac{\alpha P + (1-\alpha) P_{m-1}}{K + \alpha P + (1-\alpha) P_{m-1}} \right) \quad (3)$$

$$SR_{TPPgh} = R_0 e^{(QT-Q_2 T^2)} \left(\frac{\alpha P + (1-\alpha) P_{m-1}}{K + \alpha P + (1-\alpha) P_{m-1}} \right) \quad (4)$$

связывающие SR с T, P и SOC:

$$SR_{TPPS} = R_0 e^{QT} \left(\frac{\alpha P + (1-\alpha) P_{m-1}}{K + \alpha P + (1-\alpha) P_{m-1}} \right) \left(\frac{SOC}{\psi + SOC} \right) \quad (5)$$

где R_0 – SR при 0°C и нормальных условиях. После определения R_0 остальные параметры моделей последовательно вычисляются с помощью нелинейной регрессии: Q и Q_2 – температурные коэффициенты; K – константа полунасыщения между SR и P; α – коэффициент перераспределения осадков между текущим (P) и предыдущим (P_{m-1}) месяцами; ψ – константа полунасыщения между SR и SOC.

Для определения R_0 , мы следуем процедуре, основанной на методе минимизации параметра пересечения с осью ординат для линейного сравнения между измеренными и моделируемыми с помощью уравнений ансамбля (уравнения 1–5) данными. Как правило, при моделировании SR недооцениваются экстремально большие (лето) и малые (зима) значения. При этом наклон <1 и пересечение >0 для линейного сравнения измеренных и моделируемых данных. При перемещении пересечения в начало координат (пересечение → 0+), R_0 , представляющее малые значения SR зависящие от температуры грунта, переходит к ожидаемому значению SR при $T_{soil}=0^\circ C$. Эта процедура особенно подходит для моделирования SR в зимнее время.

Как для лесной, так и для луговой площадки более низкая температура и меньшее количество осадков уменьшают SR, влияющие на оценки R_0 . При этом полученные нами R_0 (большие для влажных лет и меньшие для сухих лет) находятся в районе температуры почвы 0–0.4 °C и осадков менее 80 мм в месяц.

SR проявляет различную зависимость от температуры и влажности почвы для холодных условий: $0 < T_{soil} < 2^\circ C$. Для лесной площадки наиболее существенна и статистически значима зависимость SR от осадков – корреляция 0.42 с p-value=0.04, в то время как для луговой площадки зависимость от осадков практически отсутствует и наиболее существенна и

статистически значима зависимость SR от моделированной с помощью SCLISS модели температуры подстилки – корреляция 0.53 с p-value=0.003.

Две модели из исследуемого нами ансамбля (уравнения 1–5) – TPPC и TPPrh – обладают наилучшими характеристиками среди всех моделей, что также согласуется с нашими предыдущими выводами. Модель TPPC (уравнение 5) чувствительна к доступности SOC, а модель TPPrh (уравнение 4) чувствительна к изменению SR в теплое время года, обусловленному высокой температурой.

Дальнейшее сравнение моделей TPPC и TPPrh для различных условий влажности: нормальных, влажных и засушливых лет показывает, что наилучшие показатели с самыми высокими значениями R^2 и наклона модели сравнения достигаются во влажных условиях как для лесной, так и для луговой площадки, когда температуры не достигают экстремальных значений. Засушливые условия характеризуются наихудшими показателями по R^2 и наклону во всех случаях, возможно, из-за самых высоких температур, достигнутых в эти годы, а также из-за самых высоких скоростей испарения. Однако для леса нормальные и влажные условия показывают схожие характеристики, в то время как для луга результаты нормальных условий ухудшаются до засушливых, сигнализируя о потребности в воде и разнице температур, когда почва подвергается прямому воздействию солнечного света.

Во влажные годы использование смоделированных с помощью SCLISS модели значений температуры и влажности подстилки обеспечивает наилучшие результаты как для модели TPPC, так и для модели TPPrh, в то время как в нормальные и засушливые годы использование смоделированных значений подстилки оказывается немного хуже, чем использование метеорологических значений температуры воздуха и осадков.

В заключение отмечаем, что сосредоточившись на дерновом подбуре, обнаружено: Для лесной SR с низкой доступностью SOC для микробного разложения из-за высокого соотношения C/N, прямые измерения T_{soil} в сочетании с SOC обеспечивают лучшую параметризацию для эмпирической модели TPPC, чем если бы использовалась только параметризация T_{soil} или T_{air} . При этом для диапазона температур $0 < T_{soil} < 2$ °C, корреляция между SR и осадками статистически значима. Для луговой SR с относительно высокой доступностью SOC для минерализации из-за низкого соотношения C/N, температура становится определяющим фактором для почвы, непосредственно подверженной воздействию солнечного света, и модель TPPrh с квадратичной температурной зависимостью показывает лучшие результаты по сравнению со всеми рассмотренными моделями. При этом для диапазона температур $0 < T_{soil} < 2$ °C, корреляция между SR и моделированной с помощью SCLISS модели температуры подстилки статистически значима.

Сбор и подготовка данных были выполнены в рамках программы ВИПГЗ (регистрационный номер: 123030300031-6), моделирование SCLISS моделью было выполнено в рамках государственного задания No. 122040500037-6, дата анализ и моделирование эмпирическими моделями были выполнены в рамках государственного задания No. 122111000095-8.

УДК 631.433.3

ЭМИССИЯ CO₂ СВЕТЛО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ УРБОЛАНДШАФТА

Кошелев А.В., Шатровская М.О.

ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, alexkosh@mail.ru

Ведущую роль в изменении климата играет цикл углерода, который определяется балансом между поглощением CO₂ растительностью и выделением углекислого газа при дыхании почв. Изучение эмиссии CO₂ из почвы в разных типах экосистем на всей территории России является важной государственной задачей. В рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской

Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» поставлена цель разработать единую национальную систему мониторинга климатически активных веществ. В связи с этим проведение исследований по эмиссии CO₂ из почвы, особенно в зимний период в зональном масштабе страны, является актуальным вопросом. Измерения эмиссии CO₂ из почвы в зимний период производили на площадке, расположенной на территории ФНЦ агроэкологии РАН. Площадка представляет собой участок на светло-каштановой почве с древесно-кустарниковой растительностью (хвойные и лиственные). Возраст древесной растительности составляет 10-20 лет. На площадке установлены 5 непрозрачных камер, в подкроновом, межкроновом и открытом пространствах. Измерения начаты с конца ноября 2023 г. и проводятся на основе инфракрасного газоанализатора VentPro в модификации ИФХиБПП РАН, г. Пущино. В процессе измерений одновременно фиксировались метеопараметры: температура воздуха, температура и влажность почвы, высота снежного покрова возле камер, условия проведения измерений. Измерения проводились 1 раз в неделю (4-5 раз в месяц). Температура воздуха в декабре 2023 г. в дни измерений варьировала от -5,2°C до +4,3°C, средняя температура воздуха за декабрь составила +0,2°C. Максимальная высота устойчивого снежного покрова была зафиксирована 15 декабря – 1,5 см. С увеличением температуры воздуха снег растаял. Температура почвы варьировала от +0,2°C до +4,2°C, средняя температура почвы составила +1,9°C. Влажность почвы в дни измерений в среднем варьировала от 4,7% до 29,7%, среднее значение влажности составило 21,5%. Поток CO₂ из почвы при этом варьировал от 24 до 45 мг С (м² час)⁻¹, среднее значение потока за декабрь составило 38 мг С (м² час)⁻¹ (рисунок). Причем максимальный поток (59 мг С (м² час)⁻¹ в среднем) всегда фиксировался в камере под кроной хвойных деревьев. Корреляционный анализ показал, что значимое влияние на поток оказывала температура воздуха (R=0,91) и влажность почвы (R=1,0), влияние температуры почвы на поток оказалось незначимым (R=0,08).

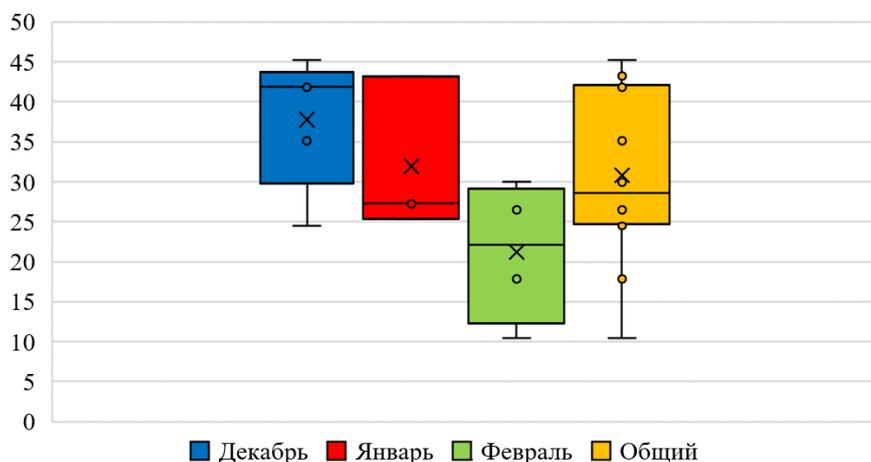


Рисунок. Поток CO₂ из светло-каштановой почвы в зимний период

Температура воздуха в январе 2024 г. в дни измерений варьировала от -7,4°C до +1,9°C, средняя температура воздуха за январь составила -2,0°C. Максимальная высота устойчивого снежного покрова была зафиксирована 12 января – 20,0 см. С увеличением температуры воздуха снег постепенно таял. Температура почвы варьировала от +0,2°C до +0,3°C, средняя температура почвы составила +0,2°C. Влажность почвы в дни измерений в среднем варьировала от 15,0% до 18,2%, среднее значение влажности составило 16,9%. Поток CO₂ из почвы при этом варьировал от 25 до 43 мг С (м² час)⁻¹, среднее значение потока за январь составило 32 мг С (м² час)⁻¹. Причем максимальный поток (49 мг С (м² час)⁻¹ в среднем) всегда фиксировался в камере под кроной хвойных деревьев. Корреляционный анализ показал, что значимое влияние на поток оказывает температура воздуха (R=-0,99) и

влажность почвы ($R=0,57$), влияние температуры почвы на поток оказалось незначимым ($R=0,19$).

Температура воздуха в феврале 2024 г. в дни измерений варьировала от $-6,9^{\circ}\text{C}$ до $+0,1^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха за январь составила $-1,8^{\circ}\text{C}$. Максимальная высота устойчивого снежного покрова была зафиксирована 22 февраля – 14,0 см. С увеличением температуры воздуха снег также постепенно таял. Температура почвы варьировала от $+0,1^{\circ}\text{C}$ до $+0,4^{\circ}\text{C}$, средняя температура почвы составила $+0,2^{\circ}\text{C}$. Влажность почвы в дни измерений в среднем варьировала от 12,9% до 22,7%, среднее значение влажности составило 16,7%. Поток CO_2 из почвы при этом варьировал от 10 до 30 мг С ($\text{м}^2 \text{ час}$)-1, среднее значение потока за февраль составило 21 мг С ($\text{м}^2 \text{ час}$)-1. Причем максимальный поток (30 мг С ($\text{м}^2 \text{ час}$)-1 в среднем) всегда фиксировался в камере под кроной хвойных деревьев. Корреляционный анализ показал, что на поток оказывали среднее влияние все 3 параметра: температура воздуха ($R=-0,49$), влажность почвы ($R=0,60$) и температура почвы ($R=0,47$).

В среднем за зимний период температура воздуха составила $-1,0^{\circ}\text{C}$, температура почвы $+0,9^{\circ}\text{C}$, влажность почвы $-18,7\%$, при этом поток CO_2 из почвы составил 31 мг С ($\text{м}^2 \text{ час}$)-1. Корреляционный анализ данных за весь зимний период показал, что значимое влияние на поток оказывает влажность почвы ($R=0,70$) и температура почвы ($R=0,44$), а влияние на поток температуры воздуха оказалось менее значимым ($R=0,13$). При измерении концентрации CO_2 из почвы была замечена особенность, что при температуре почвы ниже температуры окружающего воздуха идет слабое нарастание концентрации CO_2 - 1 ppm в минуту.

Таким образом, предварительные результаты измерений эмиссии CO_2 из почвы в зимний период позволили получить уникальные данные для дальнейшего анализа факторов влияния на эмиссию CO_2 из почвы в сухостепной зоне каштановых почв, а в перспективе позволят выявить вклад зимнего сезона в годовой поток углекислого газа из почвы в сухостепной зоне каштановых почв.

УДК 631.433.3:582.475

ПОЧВЕННОЕ ДЫХАНИЕ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ХВОЙНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕСТОВОМ ПОЛИГОНЕ «ЛЯЛЬСКИЙ» РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Кузнецов М.А., Осипов А.Ф.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, kuznetsov_ma@ib.komisc.ru

В течение бесснежного (май–октябрь) периода 2023 г. в ельнике разнотравно-черничном на типичной подзолистой почве и сосняке сфагновом на торфянисто-подзолисто-глеевой иллювиально-железистой почве

выполнены измерения потоков диоксида углерода из почвы при помощи инфракрасного газоанализатора LICOR 8100 с почвенной камерой 20 см.

Данные сообщества произрастают на тестовом полигоне «Ляльский», расположенном в подзоне средней тайги Республики Коми. Измерения проводились один-два раза в месяц, а общее количество определений скорости потока CO_2 достигло 423, которые примерно поровну распределены между объектами мониторинга. Одновременно измерялись температура (на глубине 10 см) и влажность (в слое 0–5 см), датчиками входящими в комплектацию прибора. Непрерывное ежечасное измерение температуры почвы осуществлялось с 11 мая по 2 октября 2023 г. датчиками НОВО, с последующим усреднением за сутки.

Кривая хода эмиссии CO_2 с поверхности типичной подзолистой почвы ельника разнотравно-черничного имеет «классический» характер и характеризуется постепенным ростом с мая по июль-август и дальнейшим снижением к октябрю. Следует отметить отсутствие достоверных различий величины средней за месяц эмиссии CO_2 в июле, августе и сентябре ($p_i=0.314-0.841$), что во многом обусловлено теплой погодой в августе и сентябре. Поступление и

разложение листвы деревьев текущего года послужило причиной сопоставимой с июньской скорости потока диоксида углерода ($p_t=0.201$) в октябре. На момент начала наблюдений температура почвы на глубине 10 см составила 2.3 °С, достигнув максимальных значений в конце июля (16.5 °С) и снижением до 10.5 °С на момент окончания наблюдений. Влажность почвы в слое 0–5 см во время измерений снижалась с мая по август, с повышением в осенние месяцы. Вместе с тем, наблюдались благоприятные (16–18 % об.) условия увлажнения в июне, июле и сентябре. Август характеризовался засушливыми условиями, что обусловлено небольшим количеством выпадающих осадков.

Максимальные среднемесячные значения дыхания торфянисто-подзолисто-глеевой иллювиально-железистой почвы сосняка сфагнового наблюдались в августе. Выявлены сопоставимые среднемесячные величины выделения CO_2 из почвы между июлем и сентябрем ($p_t=0.271$), а также маем и октябрем ($p_t=0.338$), тогда как при парных сравнениях для остальных месяцев выявлена достоверная разница в дыхании почвы. Относительно высокая температура почвы на глубине 10 см наблюдалась в конце июля – начале августа, а среднемесячная температура почвы в эти месяцы была сходна ($p_t=0.193$). Большие значения влажности почвы отмечены в мае и осенние месяцы, что обусловлено наличием верховодки после снеготаяния и снижением темпов транспирации осенью вследствие опада листьев кустарничков и понижением температуры воздуха.

Установлена положительная статистически достоверная взаимосвязь между дыханием почвы исследуемых фитоценозов и температурой почвы на глубине 10 см для всех данных в течение бесснежного периода.

Рассчитано, что в течение бесснежного периода с дыханием типичной подзолистой почвы ельника разнотравно-черничного выделяется 670.6 ± 74.9 гС/м², торфянисто-подзолисто-глеевой иллювиально-железистой почвы сосняка сфагнового – 634.4 ± 22.5 гС/м².

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ) на выполнение темы «Оценка запасов углерода и мониторинг потоков парниковых газов в лесных экосистемах на европейском северо-востоке России» (Рег. № 124013000679-5).

УДК 631.416.1:631.417.4

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ АЗОТА ПОГРЕБЕННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ Кузнецова Т.В., Удальцов С.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, Пушкино, e-mail: kuznetsova@pbcras.ru

Азот и его соединения играют важную и незаменимую роль в формировании почвенного покрова и плодородия почв. На интенсивность и направленность различных процессов внутрипочвенного превращения азота (иммобилизация, минерализация (аммонификация и нитрификация), денитрификация и азотфиксация) влияют климатические условия, которые обуславливают либо накопление азота в почве, либо его потери. В верхних (гумусовых) горизонтах почвы ~90% азота состоит из различных по составу органических соединений, остальная часть азота представлена минеральными формами: аммонием (обменным и необменным), нитратами и нитритами. Основным источником доступного микроорганизмам и растениям почвенного азота служит активный пул органического азота ($N_{\text{акт}}$), включающий компоненты с периодом полураспада ($T_{1/2}$) от 2–5 до 540 сут. Биогеохимический цикл азота сопряжен в основном с активным пулом органического азота почвы, который является чувствительным индикатором на различные агрогенные воздействия и климатические изменения окружающей среды. В современной литературе имеется мало данных об азотном статусе и практически отсутствуют сведения о количественном содержании и кинетических

параметрах компонентов $N_{\text{акт}}$ для почв ландшафтов Юга России, для которых одной из наиболее значимых проблем в настоящее время является снижение почвенного плодородия. Исследования по изучению азотминерализующей способности современных почв в сравнении с погребенными палеопочвами позволят получить дополнительную информацию о влиянии природно-климатических условий в различные исторические эпохи на потенциальную минерализацию почвенного органического азота.

Целью работы была сравнительная оценка азотминерализующей способности разновозрастных каштановых палеопочв, погребенных под курганами, сооруженными в конце VI–V вв. до н.э. (ПП1) и в I в. н.э. (ПП2), и современных (целина, лесополосы 20–40-летнего возраста, залежи более 5 лет и агроценозы) каштановых почв степной зоны Нижнего Поволжья (на примере почв Ольховского р-на Волгоградской обл.). Образцы почв были отобраны из гор. А1 ($A_{\text{пах}}$). С помощью биокинетического метода по накоплению подвижного минерального азота ($N_{\text{мин подв}} = N\text{-NH}_4^+_{\text{обм}} + N\text{-NO}_3^-$) в разные периоды аэробной инкубации (при температуре 22°C и влажности 24 вес. %, в течение 150 сут) почвенных образцов оценивали размеры потенциально-минерализуемого ($N_{\text{пм}}$), нетто-минерализованного азота ($N_{\text{нм}}$) и кинетические константы минерализации (k , сут^{-1}) этих пулов. Содержание органического азота ($N_{\text{орг}}$, рассчитывали по разности между содержанием общего и суммой минеральных форм азота (обменный + необменный аммоний + нитраты) в палеопочвах составляло 54 и 56 мг/100 г соответственно для почв, погребенных в конце VI–V вв. до н.э. и в I в. н.э., а в современных – от 47 (агроценоз) до 179 (лесополоса) мг/100 г. Исходное содержание $N_{\text{мин подв}}$ в палеопочвах составляло 0.68 и 0.38 мг N/100 г соответственно для ПП1 и ПП2, а в современных находилось в пределах 0.44–1.63 мг N/100 г, этот пул азота был представлен в большинстве почв обменным аммонием, за исключением почвы под лесополосой.

Комплексным параметром для характеристики основных процессов биогеохимического цикла азота является величина азотминерализационной способности почв. Наши исследования показали, что все исследуемые почвы имеют достаточно высокую способность к минерализации азотсодержащих органических соединений. В палеопочвах величина $N_{\text{пм}}$ составила 1.65 и 2.55 мг N/100 г соответственно ПП1 и ПП2, в современных она изменялась от 1.85 (залежь) до 6.41 (лесополоса) мг N/100 г. Выявлено, что за период инкубации в палеопочвах накопилось $N_{\text{мин подв}}$ в 2.9 и 7.4 раз больше (соответственно для почв, погребенных в конце VI–V вв. до н.э. и в I в. н.э.), чем было перед инкубацией, а в современных почвах – в 3.8 (залежь) – 10.2 (целина) раз больше. $N_{\text{мин подв}}$ в конце инкубации и $N_{\text{нм}}$ во всех почвах были представлены только нитратной формой. Доля $N_{\text{пм}}$ от $N_{\text{орг}}$ в погребенных почвах составляла 3.0 и 4.5% соответственно в ПП1 и ПП2, а в современных – от 2.0% (залежь) до 5.5% (агроценоз). Константы скорости минерализации $N_{\text{пм}}$ для палеопочв, погребенных в конце VI–V вв. до н.э., были в 5 раз выше, чем для палеопочв, погребенных в I в. н.э. ($0.1164 \pm 0.001 \text{ сут}^{-1}$, $T_{1/2} = 6 \text{ сут}$ и $0.0232 \pm 0.001 \text{ сут}^{-1}$, $T_{1/2} = 30 \text{ сут}$ соответственно); для современных они находились в пределах $0.0231 \pm 0.000 - 0.0962 \pm 0.001 \text{ сут}^{-1}$.

Таким образом, судя по кинетическим константам минерализации и величинам $T_{1/2}$, в конце VI–V вв. до н.э. на исследуемой территории климат был более влажным, чем в I в. н.э. В современных условиях в периоды оптимальных гидротермических условий накапливаемый в каштановых почвах нитратный азот может служить источником эмиссии N_2O в атмосферу. Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках госзадания № 122040500037-6.

УДК 631.423.6:631.82

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ГАЗОНОВ

Кулачкова С.А., Деревенец Е.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: kulachkova_sa@inbox.ru

Глобальные климатические изменения на планете обуславливают необходимость поиска возможностей регулирования поступления парниковых газов (ПГ) в атмосферу. Почвы выступают важнейшим источником диоксида углерода, метана и оксида азота. Исследование процессов и условий, в которых образуются и поглощаются перечисленные газы позволит разработать способы управления их потоками. Городские почвы активно изучаются в последние десятилетия, но их вклад в атмосферное содержание ПГ еще не оценен и требует пристального внимания с учетом растущих темпов урбанизации. Большую долю городских пространств занимают почвы под газонами, для создания и ухода за которыми предусмотрено внесение удобрений. В литературе нет однозначного мнения о влиянии минеральных удобрений на эмиссию ПГ из почв, особенно мало таких данных для урбоэкосистем, что обуславливает актуальность наших исследований в конкретных городских условиях.

Цель работы – оценка влияния минеральных удобрений на потоки парниковых газов из городских газонов, находящихся в длительной эксплуатации.

Объект исследования – серогумусовые урбистратифицированные среднесуглинистые почвы на техногенном субстрате мелкоделяночного опыта в Ботаническом саду МГУ имени М.В. Ломоносова на Ленинских горах (г. Москва). Мелкоделяночный опыт был заложен сотрудниками кафедры агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ в июле 2020 года. В опыте использовались четыре комплексных минеральных удобрения с различными соотношениями азота, фосфора, калия и других элементов со следующими коммерческими названиями: Азофоска NPKS 27:6:6:2 (далее Азофоска), Универсал NPK 18:18:18 + 3 MgO + микроэлементы (далее Универсал), Нитроаммофоска NPKS 21:10:10:2 (далее Нитроаммофоска-1), Нитроаммофоска NPK 15:15:15 (далее Нитроаммофоска-2). В Универсале азот был представлен тремя формами: амидной, аммонийной и нитратной, в остальных удобрениях – только аммонийной и нитратной. Удобрения вносились дробно в течение вегетационного сезона, после стрижки газона путем равномерного разбрасывания по поверхности без нарушения травостоя, затем осуществлялся полив. Полные дозы составили 60 и 120 кг/га за вегетационный сезон. Контрольная площадка располагалась в 10 м от участков с удобрениями. Повторность эксперимента трехкратная, площадь одной опытной делянки 4 м². Полевые исследования проводились в октябре 2021 г., апреле-сентябре 2022 г., до внесения удобрений, через 1-2 недели и месяц после их внесения.

Устанавливался краткосрочный эффект от внесения разных видов и доз комплексных минеральных удобрений на эмиссию и поглощение ПГ газонами в летний период, выявлялась сезонная динамика этих процессов. Основной гипотезой было то, что используемые удобрения будут неодинаково воздействовать на микробиоту и растительность, что позволит выявить наиболее оптимальные варианты применения удобрений для управления эмиссией парниковых газов.

Потоки парниковых газов определялись статическим камерным методом с количественным анализом на газовом хроматографе (эмиссия CO₂, CH₄ и N₂O почвами – в светонепроницаемой камере без растений, экосистемное дыхание – в светонепроницаемой камере с растениями, нетто-экосистемный обмен – в светопроницаемой камере с растениями). Измерялись температура и влажность почв (термостатно-весовым методом), содержание углерода органического вещества (методом Тюрина в модификации Никитина), водный pH (потенциометрически, при соотношении почва:вода = 1:2,5). В инкубационных экспериментах было определено базальное дыхание (БД), углерод микробной биомассы C_{мик} (методом субстрат-индуцированного дыхания), рассчитан метаболический коэффициент qCO₂.

Содержание C_{мик} в почве контрольного варианта в летний период варьировало в пределах 1300–1450 мкг·г⁻¹. Внесение удобрений Нитроаммофоска-1 и Универсал в дозе 60 кг N га⁻¹ увеличивало содержание C_{мик} на 12-35% в первые две недели, в дальнейшем оно

уменьшалось. Внесение всех удобрений повышало БД и почвенную эмиссию CO_2 на короткий период, максимально на 6-е сутки. Через две недели прирост интенсивности БД и эмиссии CO_2 сокращался или она снижалась до контрольных значений (медианы $1,5 \text{ мкг С} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ и $500 \text{ мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно) и меньше. Минимальные интенсивность почвенной эмиссии CO_2 и всплеск БД почвы наряду с приростом микробной биомассы наблюдались после внесения удобрения Нитроаммофоска-1. Наибольшее изменение функционирования микробного сообщества почв, выявленное по максимальному $q\text{CO}_2$, происходило при внесении Азофоски. Динамика почвенной эмиссии CO_2 мелкоделяночного опыта с апреля по октябрь коррелировала с температурой почв ($r_s = 0,66$, $p < 0,05$, $n=135$). Во все периоды исследований минимальные показатели эмиссии CO_2 отмечены для участка с удобрением Нитроаммофоска-1.

Экосистемное дыхание на всех площадках с удобрениями так же, как и почвенное дыхание, не превышало контроль (медиана $760 \text{ мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$) до внесения удобрений, было наибольшим через неделю после внесения (возрастало в 2-3 раза) и уменьшалось через две. Это связано с максимальной микробной продукцией CO_2 только в 1 неделю и со снижением интенсивности дыхания растений по мере отрастания газона. Более высокая доза удобрения сильнее увеличивала экосистемное дыхание, за исключением Нитроаммофоски-2.

Минимальное экосистемное дыхание было на участке с Универсалом, но при этом фитомасса отросшего газона здесь также была наименьшей.

Величина нетто-экосистемного обмена уменьшалась по мере отрастания газона, как на контроле, так и под действием удобрений. На контрольном участке она изменялась от $539 \text{ мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ (медианы) после стрижки газона до $106 \text{ мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ через 2 недели. Как правило, для участков с удобрениями она была меньше контроля в 1,5-2 раза или сопоставима. На площадках с низкой дозой Нитроаммофоски-1 чаще других вариантов наблюдалось большее поглощение CO_2 растениями, тогда как на площадках с высокой дозой, напротив, были отмечены повышенные показатели нетто-экосистемного обмена. Таким образом, при внесении данного удобрения в меньшей дозе со временем устанавливается наиболее низкий уровень выделения CO_2 из экосистемы газона.

Контрольные участки за все время наблюдений служили стоком атмосферного метана, наиболее выраженным в конце июня-начале июля (медиана $-0,10 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$). На участках с удобрениями, за исключением Нитроаммофоски-1, могла наблюдаться незначительная эмиссия CH_4 – от 0,01 до $0,18 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. Чаще всего метан выделялся на участке с применением Азофоски.

Эмиссия закиси азота в данном исследовании не была обнаружена, ни сразу после внесения удобрений, ни с течением времени.

Таким образом, показано, что с помощью применения комплексных минеральных удобрений возможно регулировать потоки парниковых газов из экосистем городских газонов. В зависимости от соотношения NPK и других элементов, а также формы азота, разные удобрения будут оказывать неодинаковое воздействие на активность микробного сообщества конкретных почв. Это обусловливается обеспеченностью почв азотом, типом и количеством органического вещества, особенностью микробиома.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121040800147-0 «Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов»).

УДК 631.4

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ CO_2 ИЗ ПОЧВ ЛЕСНЫХ И ЛУГОВЫХ ЦЕНОЗОВ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

Лопес де Гереню В.О.¹, Курганова И.Н.¹, Хорошаев Д.А.¹, Мякшина Т.Н.¹, Сапронов Д.В.¹

¹Институт Физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, vlopes@mail.ru;

Эмиссия CO_2 из почвы в атмосферу (ЭМ_{CO_2}) является одним из главных потоков в глобальном цикле углерода. Годовой эмиссионный поток CO_2 из почв планеты, оценка которого получена с использованием наиболее полной базы данных экспериментальных измерений, на порядок выше, чем эмиссия углекислого газа от сжигания ископаемого топлива. Занимая чуть менее 1/8 части суши, наземные экосистемы нашей страны играют существенную роль не только в формировании глобальных потоков и пулов углерода (C), но и вносят существенный вклад в формирование неопределенностей оценок основных составляющих глобального баланса углерода в силу отсутствия сети стационарных наблюдений. Поэтому получение экспериментальных данных по определению ЭМ_{CO_2} из почв в различных биоклиматических регионах РФ, является сегодня весьма актуальным и востребованным в мировом сообществе. Многолетние наблюдения за ЭМ_{CO_2} , непрерывно проводимые в одних и тех же экосистемах более 3–5 лет, до настоящего времени являются довольно редкими не только в России, но и в мире. В работе представлен анализ данных по определению ЭМ_{CO_2} из дерново-подбуря песчаного под смешанным лесом и луговой растительностью на территории Приокско-Террасного биосферного заповедника (ПТБЗ) и серой почвы под листовым вторичным лесом на территории Опытной-полевой станции (ОПС) ИФХиБПП РАН. Измерения были начаты в ноябре 1997 г. и продолжаются по сей день. Имеющиеся в нашем распоряжении многолетние ряды экспериментальных данных позволили связать динамику годовых и сезонных потоков CO_2 из почв с современными климатическими трендами.

Определение ЭМ_{CO_2} проводится круглогодично и непрерывно с периодичностью 3–5 раз в месяц методом закрытых камер. На каждом из трех биогеоценозов (БГЦ) за 25-летний цикл исследований было выполнено от 1000 до 1200 измерений ЭМ_{CO_2} из почв. Величину среднемесячной скорости ЭМ_{CO_2} ($\text{мг С/м}^2/\text{час}$) вычисляли как среднее арифметическое из всех измерений, проведенных за соответствующий месяц. Суммарные месячные потоки CO_2 почв ($\text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-мес}}$, $\text{г С/м}^2/\text{мес}$) рассчитывали с учетом продолжительности соответствующего месяца. Сезонные ($\text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-сез}}$, $\text{г С/м}^2/\text{сезон}$) и годовые ($\text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-год}}$, $\text{г С/м}^2/\text{год}$) потоки CO_2 из почв были получены суммированием соответствующих месячных потоков. Для поиска связи величины годовой ЭМ_{CO_2} из почв изучаемых БГЦ, на основе многолетних метеоданных (среднесуточная температура воздуха ($T_{\text{везд}}$, $^{\circ}\text{C}$), суточное количество осадков (P , мм)), полученных на Станции фоновом мониторинга, расположенной на территории ПТБЗ вблизи луговой площадки наблюдений и включенной в Сеть наблюдений Росгидромета, были оценены следующие метеорологические индексы (МИ): (1) среднегодовая $T_{\text{везд}}$ (MAT , $^{\circ}\text{C}$) и годовая сумма осадков (AP , мм); (2) $\text{ST}(5-8)$ и $\text{ST}(5-9)$, $^{\circ}\text{C}$ – сумма среднемесячных значений $T_{\text{везд}}$ с мая по август и с мая по сентябрь, соответственно; (3) $\text{SP}(5-8)$ и $\text{SP}(5-9)$ – сумма месячных сумм осадков с мая по август и с мая по сентябрь, соответственно; (4) индексы влажности $\text{WI}(5-8)$ и $\text{WI}(5-9)$, которые представляют собой $\lg(\text{SP}(5-8)/\text{ST}(5-8))$ и $\lg(\text{SP}(5-9)/\text{ST}(5-9))$ соответственно (5) гидротермический коэффициент Селянинова ($\text{ГТК}(6-8)$) за летний период (июнь–август), представляющий отношение суммы осадков (мм) за период со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C к сумме температур за этот же период, деленное на 10.

Внутригодовая динамика среднемноголетней величины $\text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-мес}}$ в изучаемых почвах имела «классический» для умеренной зоны характер: с минимальными величинами ($20-25 \text{ г С/м}^2/\text{мес}$) – в зимние месяцы и с максимальными ($76-127 \text{ г С/м}^2/\text{мес}$) – в летние. Вместе с тем, аномально высокие значения $\text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-мес}}$ в зимние месяцы ($42-60 \text{ г С/м}^2/\text{мес}$), обусловленные отсутствием промерзания почвы при значительных положительных аномалиях зимних температур воздуха, в некоторые годы были на уровне или даже превышали минимальные величины $\text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-мес}}$ в летние месяцы ($29-57 \text{ г С/м}^2/\text{мес}$), которые

были зарегистрированы в экстремально засушливые периоды 2002 и 2007 гг. Среднемноголетние величины суммарных сезонных величин ЭМ_{СО2}-сез из почв исследуемых БГЦ возрастали в следующем порядке: зимние (62–79 г С/м²) < весенние (116–153 г С/м²) < осенние (142–153 г С/м²) < летние (250–341 г С/м²). В весенний и летний сезоны величины ЭМ_{СО2}-сез из почвы лугового ценоза были достоверно выше, чем в почвах под лесом (P<0.05). В осенний и зимний календарные сезоны величины ЭМ_{СО2}-сез из почв всех трех БГЦ значимо не отличались. Среднемноголетние потоки СО₂ из лесных почв в течение теплого периода (май–октябрь) были достоверно ниже, чем величина ЭМ_{СО2}-сез из почвы под луговой растительностью, в то время как в холодный период года величины ЭМ_{СО2}-сез из почв всех трех БГЦ значимо не отличались. Средние многолетние величины годовой ЭМ_{СО2} из почв лесных ценозов составили 579±46 и 621±56 г С/м²/год для дерново-подбура и серой почвы, соответственно, и достоверно между собой не различались. Среднемноголетняя эмиссия СО₂ из дерново-подбура под луговой растительностью была значимо выше и составляла 710±64 г С/м²/год. Корреляционный анализ, проведенный для поиска связи между годовыми величинами ЭМ_{СО2} из почв и метеорологическими индексами, выявил значимое негативное влияние температурных индексов (МАТ, ST(5-8), ST(5-9)) на годовую ЭМ_{СО2} из почв (Рисунок). Найдены значимые положительные корреляционные связи между величинами годовой ЭМ_{СО2} из почв всех изучаемых БГЦ с индексами влажности и метеорологическими индексами, основанными на количестве осадков за разные временные периоды вегетационного сезона.

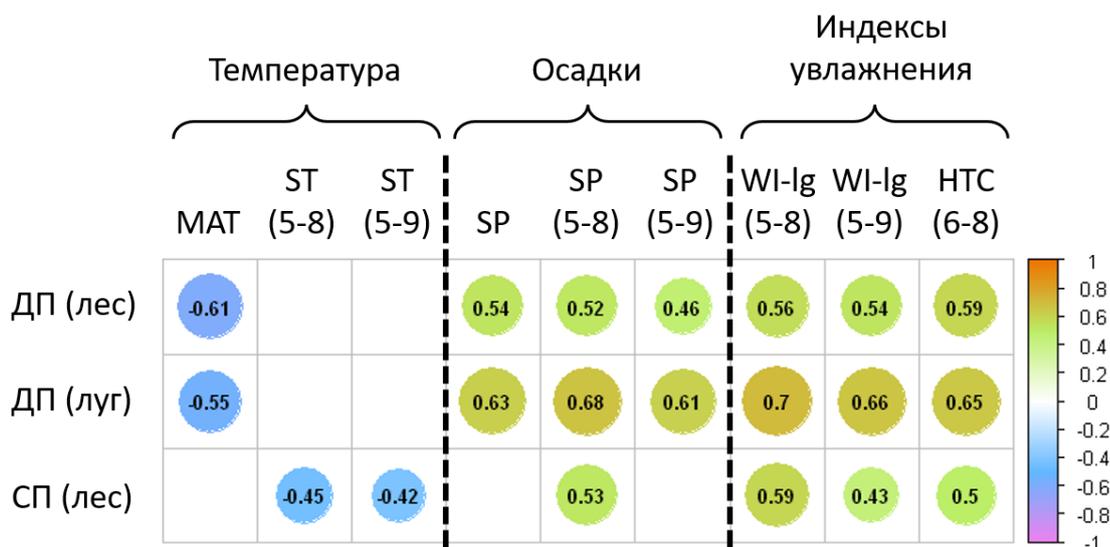


Рисунок – Корреляция между годовой ЭМ_{СО2} из почв изучаемых БГЦ и метеорологическими индексами (обозначения в тексте). ДП – дерново-подбур, СП – серая почва.

Работы по проведению мониторинга в 2022 г. выполнялись в рамках реализации Важнейшего Инновационного Проекта Государственного Значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации..." (рег. № 123030300031-6)", обобщение 25-летнего ряда данных проводилось в рамках ГЗ ФИЦ ПНЦБИ РАН (регистрационный № 123030300031-6). УДК 630.114.52

ИЗВЕСТКОВАНИЕ И СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Лукманов А.А.

ФГБУ ЦАС Татарский, Казань, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Республика Татарстан (РТ) занимает северную и среднюю части лесостепной зоны и южную часть таежно-лесной зоны Европейской части Российской Федерации. Это придает

специфическую особенность почвенному покрову ее территории и предопределяет необходимость особого подхода ко многим вопросам, связанным с химизацией земледелия. Интенсивное применение минеральных удобрений (преимущественно физиологически кислых), отчуждение карбонатов с урожаем сельскохозяйственных культур, выщелачивание их из пахотного горизонта нисходящими токами воды, эрозионные процессы привели к расширению площадей кислых почв республики не только в зонах распространения исконно кислых дерново-подзолистых и серых лесные почв, но и в зонах с преобладанием черноземных почв.

Как известно, для роста и развития большинства возделываемых культур оптимальной кислотностью является близкая к нейтральной и нейтральная реакция среды.

По состоянию на 01.01.2023 г. площадь кислых пахотных почв РТ составляет 1343,9 тыс. га, или 43,6 %. По степени кислотности почвы пашни сельскохозяйственных предприятий отличаются значительной пестротой: от сильнокислых до и близких к нейтральным. Как правило, повышенную кислотность имеют слабокультуренные земли. От общей площади кислых почв 8,8 % (271,1 тыс. га) занимают почвы сильно и среднекислые, то есть требующие обязательного известкования. Во многих районах республики, кислотность почв остается на уровне слабокислой степени.

Общеизвестно, что наличие кислых почв является одним из основных лимитирующих факторов формирования высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. Кислая реакция почвы неблагоприятна для большинства культурных растений и полезной микрофлоры. Негативное влияние повышенной почвенной кислотности обуславливается: недостатком Ca^{2+} и Mg^{2+} , повышенной концентрацией токсичных ионов Al^{3+} , Mn^{4+} , H^+ , пониженной доступностью для растений элементов питания, неблагоприятными физическими свойствами почв. Поэтому оптимизация степени кислотности почв является важным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур и неременной предпосылкой эффективного применения минеральных удобрений.

Единственным радикальным путем устранения избыточной кислотности является известкование почв. Известкование, устраняя излишнюю кислотность, оказывает многостороннее действие на свойства почвы. Кальций, внесенный с известковыми удобрениями, коагулирует почвенные коллоиды, улучшает структуру почвы и повышает ее водопрочность. Под влиянием известкования улучшается водопроницаемость и аэрация, уменьшается возможность образования корки и значительно облегчается обработка тяжелых по гранулометрическому составу почв. Роль известкования проявляется и в активизации деятельности полезных микроорганизмов, особенно азотфиксирующих и нитрифицирующих бактерий, что в итоге улучшает азотное питание растений. Повышение биологической активности почвы способствует переводу труднодоступных почвенных соединений фосфора почвы и фосфоритной муки в усвояемые формы.

К регулярному известкованию кислых почв в Республике Татарстан приступили в 1967 г. Вместе с тем, до 1985 г. темпы известкования оставались низкими, а продолжительность цикла составляла 10,2–13,4 лет (табл.). Естественно, что при таких темпах известкования невозможно было ожидать сокращения площадей кислых почв. Учитывая это, в республике с 1986 г. был осуществлен переход на научно обоснованный 5-летний цикл известкования со среднегодовыми объемами 346,0–352,8 тыс. га и в 1986–1997 гг. ежегодно известковали в среднем по 340 тыс. га кислых почв.

Динамика площадей кислых почв Республики Татарстан и темпы их известкования

Цикл и годы агрохимического обследования	Площадь кислых почв	Среднегодовые объемы Известкования	Цикличность известкования, лет
------------------------------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------------------

		тыс. Га		
I	1964–1970	1 572,9	117,1	13,4
II	1971–1979	1 642,2	148,8	11,0
III	1980–1985	1 687,5	166,0	10,2
IV	1986–1990	1 693,4	352,8	4,8
V	1991–1995	1 706,3	346,0	4,9
VI	1996–2000	1 436,2	238,9	6,0
VII	2001–2005	1 398,2	162,4	8,6
VIII	2006–2010	1 436,0	149,3	9,6
IX	2011–2015	1 424,0	97,4	14,6
X	2016–2020	1 349,8	71,5	18,9
	2021	1 305,4	76,1	17,1
	2022	1 343,9	63,0	21,3

Исследованиями было установлено, что в условиях республики известкованные поля поспевают весной на несколько дней раньше. Наибольший эффект от известкования проявляется в экстремальные засушливые годы. По усредненным данным 1 т CaCO₃ в период действия в условиях Республики Татарстан обеспечивает ежегодный прирост урожая зерновых культур на нечерноземных почвах 0,126 т, а черноземах – 0,097 т/га. Кроме того, установлено, что на сильнокислых почвах минеральные удобрения дают отрицательный эффект, а на средне- и слабокислых их эффективность снижается на 20–40 %. Учитывая такое многостороннее позитивное действие и последствие известкования, можно было бы и в дальнейшем рассчитывать на сохранение достигнутых темпов известкования и дальнейшего снижения уровня почвенной кислотности. К сожалению, начиная с 1998 г. объемы известкования стали существенно сокращаться, главным образом из-за финансовых затруднений. Объемы ежегодных известкований в 1998–2000 гг. составили 196 тыс. га, а в 2001–2011 гг. всего лишь 151,8 тыс. га. При таких объемах периодичность известкования увеличилась с пяти до девяти и более лет, что приведет к росту площадей кислых почв, снижению окупаемости минеральных удобрений урожаями и эффективности земледелия в целом. Сопоставление динамики площадей кислых почв и темпов известкования показывает, что уровень кислотности пахотных почв республики определялась интенсивностью проведения работ по известкованию кислых почв. В целях обеспечения сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почв, необходимо довести реакцию почвенной среды до оптимального уровня, путем возобновления работы по известкованию кислых почв в требуемых объемах и восстановления научно обоснованного пятилетнего цикла.

УДК 631.433.3

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЭМИССИИ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ.

Мамай А.В., Мошкина Е.В.

ИЛ КарНЦ РАН, Петрозаводск, krutova_n@mail.ru; lena_moshkina@mail.ru

Бореальные леса, занимающие около 11% земной поверхности суши, играют значительную роль в глобальном углеродном цикле и особенно чувствительны к потеплению климата. В настоящее время существует множество прогнозных моделей по динамике растительности в связи с изменением климата, но в отношении почвенного покрова таких прогнозов практически нет. Можно предположить, что с потеплением климата в северной и средней тайге возрастет степень минерализации подстилки и опада, что приведет к качественным изменениям в почвенной биоте и повышению биологической активности почв. При

потеплении будет наблюдаться увеличение скорости почвенного дыхания, которое может способствовать постепенному снижению скорости связывания углерода.

Данная работа была направлена на количественное определение эмиссии CO_2 (RS) и характеристику пространственно-временной динамики дыхания альфегумусовых почв сосновых лесов, а также анализ влияния некоторых факторов на RS в условиях среднетаежной подзоны Карелии.

Пробные площади были подобраны в старовозрастных ненарушенных сосновых лесах, характеризующиеся разной производительностью и эдафическими условиями произрастания: ПП1 – сосняк брусничный (III.4 класс бонитета) на подзоле иллювиально-железистом песчаном; ПП2 – сосняк черничный (II.7 класс бонитета) на подзоле иллювиально-гумусовом; ПП3 – сосняк кислично-черничный (II.7 класс бонитета) на подбуре грубогумусированном. Пробные площади в ряду по трофности почв располагаются по возрастанию: ПП-1>ПП-2>ПП-3. ПП1 характеризуется типичными эдафическими условиями для сосняков брусничного типа на территории региона исследования, ПП2 и ПП3 характеризуются более богатыми эдафическими условиями, более производительными лесами и богатым видовым составом живого напочвенного покрова. ПП2-занимает промежуточную позицию. ПП3 иллюстрирует леса более теплых районов, где отмечается тенденция смены таежнолесных растительных формаций на неморальнолесные. Данное исследование может быть полезным в связи с особым вниманием, в настоящее время, к изучению вопросов потепления климата.

Измерения эмиссии CO_2 с поверхности почвы проводили с использованием метода закрытых камер и портативного газоанализатора на базе инфракрасного сенсора AZ 77535 (AZ Instrument Corp). Измерительные камеры установлены на каждой ПП с учетом зоны фитогенного поля дерева (приствольное повышение «ствол», под кроной деревьев – «крона», и в межкроновом пространстве – «окно»). Параллельно с определением дыхания почв, измеряли температуру почвы, воздуха в припочвенном слое и на высоте 1.5 м (термометры Hanna Instruments, USA). В те же сроки контролировали влажность почвы на глубине 5-10 см с использованием весового метода. С целью анализа температурного режима на объектах исследования круглогодично работали термолоттеры (iButton DS1925L-F5), на основе полученных данных были рассчитаны среднесуточные и среднемесячные значения температуры воздуха и почв на всех изучаемых глубинах. Для характеристики температурной чувствительности почвенного дыхания использовался температурный коэффициент Q_{10} .

Оценка пространственной и временной вариабельности эмиссии CO_2 с поверхности почв сосновых лесов, приуроченных к почвам альфегумусового генезиса на разных почвообразующих породах в условиях среднетаежной подзоны Карелии в 2022-2023 гг, показала, что интенсивность дыхания почв варьирует в широких пределах в зависимости от сезонов года и условий среды, и составляет от 40 до 70%.

Наиболее высокая активность почвенного дыхания отмечена в летне-осенний период обоих лет наблюдений, при этом более теплое и влажное лето 2022 года привело к более высоким значениям почвенного дыхания в летний период (257-570 мг $\text{C}/\text{м}^2/\text{ч}$), по сравнению с 2023 годом (145-230 мг $\text{C}/\text{м}^2/\text{ч}$). Самые низкие средние величины CO_2 -эмиссионной активности были зарегистрированы в зимний и весенний период и варьировали в пределах 20–98 мг $\text{C}/\text{м}^2/\text{ч}$. Отмечена тенденция увеличения активности почвенного дыхания с возрастанием трофности почв. Среднегодовая скорость эмиссии углекислого газа с поверхности сосновых лесов, расположенных в ряду по трофности, составила 154, 173, 207 мг $\text{C}/\text{м}^2/\text{час}$, соответственно для сосняка брусничного, сосняка черничного и сосняка кислично-черничного.

Общий годовой поток углерода в результате почвенного дыхания в сосняке брусничном и сосняке черничном составил 877 и 915 г $\text{C}/\text{м}^2$, или 8.8 и 9.2 т $\text{C}/\text{га}$, соответственно. Значимо отличалась величина годового потока C в сосняке кислично-черничном равная 1171 г $\text{C}/\text{м}^2$,

или 12 т С/га. Оценка вклада потока углерода в виде CO₂ в разные сезоны года (зима, весна, лето и осень) в общий годовой поток С из почв сосновых лесов показала, что наиболее значимый вклад вносит летне-осенний период, составляя до 80% от годового потока С, а зимний и весенний период – всего 6-15% и 10-14%, соответственно. Дыхание изучаемых почв в целом за холодный период года составило 19-28% от годового потока CO₂.

Сезонная динамика почвенного дыхания, описываемая с помощью экспоненциальной функции, в различных типах сосняков на 45-70% зависела от температуры почвы на глубине 10 см. Отмечено влияние фитогенного поля деревьев на величину почвенного дыхания. Наибольшая величина эмиссии CO₂ наблюдалась в приствольном повышении и под кроной, и была значимо ниже в «окне».

В настоящее время актуальным является разработка прогнозных моделей динамики свойств почв, в том числе их CO₂-эмиссионной активности в связи с глобальным изменением климата. Построение таких моделей невозможно без многолетних круглогодичных натуральных измерений эмиссии CO₂ в полевых исследованиях.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6) и за счет средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

УДК 631.433.3

ЭМИССИЯ CO₂ ИЗ ПОЧВ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ: СТАЦИОНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА БАЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА ИЛ СО РАН «ПОГОРЕЛЬСКИЙ БОР»

Матвиенко А.И., Богородская А.И., Прокушкин А.С.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, e-mail: matstasya2008@gmail.com

Круглогодичные регулярные измерения потоков эмиссии CO₂ с поверхности лесных почв важны для понимания вклада почвенного дыхания (ПД) в углеродный баланс экосистем. Сезонная динамика эмиссии CO₂ из почвы обусловлена фенологическим состоянием растений, концентрацией в почвах лабильного углерода и азота, активностью почвенного микробиома и гидротермическим режимом почв. Параметризация взаимодействия между эмиссией CO₂ и климатическими факторами, контролирующими этот процесс, имеет решающее значение для моделирования баланса углерода и понимания реакции биогеоценозов на изменение климата.

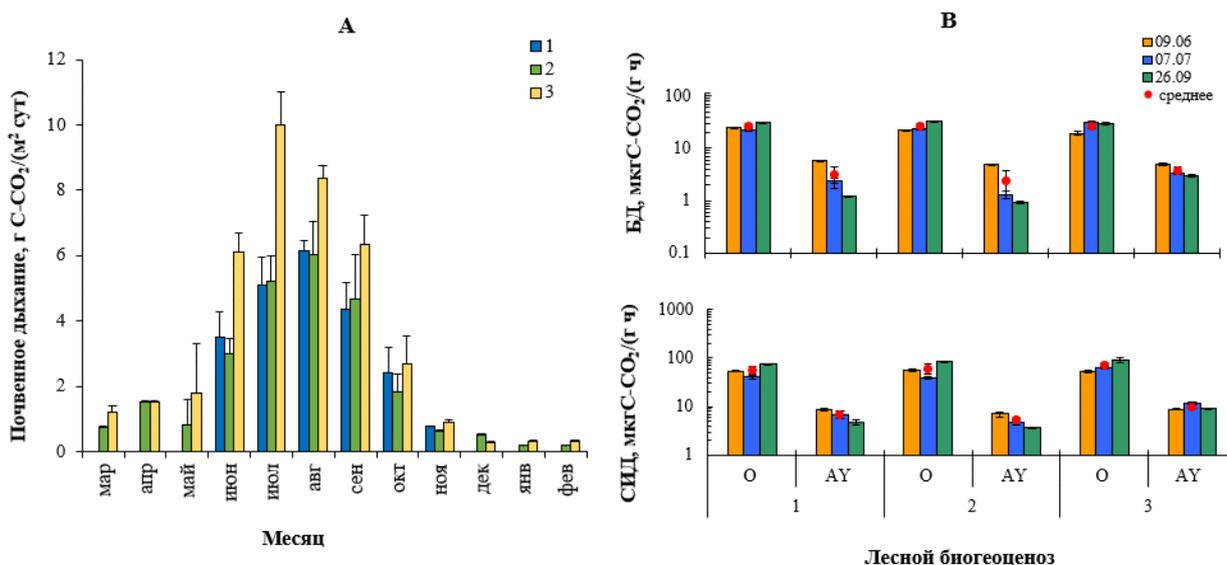
Представлены результаты годовых измерений ПД, проведенных на базе Экспериментального хозяйства ИЛ СО РАН «Погорельский бор» (56.3687 с.ш. 92.9549 в.д.) с марта 2023 г. по февраль 2024 г. в трех типах биогеоценозов (сосняк осочково-зеленомошный (средневозрастный), сосняк осочково-зеленомошный (старовозрастный древостой) и березняк орляково-вейниково-осочковый) характерных для экотона лесостепи (подтайги) Средней Сибири. Показана сезонная изменчивость потенциальной микробной дыхательной активности почв исследуемых типов лесных биогеоценозов на основе лабораторных инкубационных экспериментов – базального и субстрат-индуцированного дыхания (БД и СИД) генетических горизонтов дерново-подзолистых почв (Retisols).

В полевых условиях эмиссия CO₂ из почв (ПД) измерялась с помощью ИК-газоанализатора LI-8100A с темновой измерительной камерой (LI-COR Inc., США), на ПВХ кольцах диаметром 20 см. Объемную влажность почвы (%) определяли с помощью сенсора ThetaProbe ML2x (Delta-T Devices Ltd, Великобритания), соединенного с ручным дата-

логгером (НН2), температуру почвы и воздуха – электронными термометрами Comark DT400 (Comark Instruments, Великобритания) в трехкратной повторности возле каждого установленного кольца (по 5 колец на участке). Для определения БД и СИД были использованы стандартные инкубационные методики с определением количества выделяемого CO₂ на ГХ «Хроматэк-Кристалл 5000».

В исследованных биогеоценозах интенсивность ПД имеет четко выраженный годовой ход с минимальными значениями в феврале (0.008 г С/(м² ч)) и максимальными в июле (березняк – 0.492 г С/(м² ч)) или августе (сосняки – 0.294–0.312 г С/(м² ч)). На участке березняка ПД было значимо больше ($p < 0.001$) с начала мая до конца сентября, по сравнению с сосняками. В холодный период (с октября по февраль) достоверных отличий между биогеоценозами не выявлено (рис. 1А). Суммарно за весь период измерений в атмосферу выделилось 774 г С/(м² год) и 682 г С/(м² июнь–ноябрь) в сосняках средневозрастном и старовозрастном, соответственно, и 1218 г С/(м² год) – в березняке. Вклад в годовую величину ПД летнего сезона (июнь–август) был наибольшим и составил 56.6–66.5% в сосняках и 61.7% в березняке. Регрессионный анализ данных эмиссии CO₂ с поверхности почвы за весь период годовых измерений показал достоверную положительную связь величины ПД с температурой почвы ($R^2=0.8$, $p < 0.001$). В период активной вегетации (с 7 июня по 26 сентября) выявлено отсутствие связи ПД как с температурой, так и с влажностью почвы, что предполагает влияние других факторов, определяющих скорость выделения CO₂ с поверхности почвы в этот период.

Скорости БД и СИД достигали наибольших величин в органическом О (39.2–92.6 и 20.8–32.5 мкгС–CO₂/(г ч)) и гумусовом АУ (3.8–11.8 и 0.95–3.5 мкгС–CO₂/(г ч)) горизонтах дерново-подзолистых почв, и плавно снижались вниз по профилю в нижележащих горизонтах. Установлено, что максимальные значения БД и СИД в подстилках дерново-подзолистых почв исследованных биогеоценозов приходятся на конец вегетационного периода (26 сентября), тогда как в гумусовом горизонте, напротив, в конце сентября они были минимальны. Значимые различия параметров дыхательной активности микробиомов разных биогеоценозов наблюдались в подстилках только в июле: скорость БД была выше в березняке, чем в сосняках на 40%, а СИД – на 56–65%, в горизонте АУ – в июле и сентябре в 1.5–2.8 раз выше в березняке, чем в сосняках. Величины БД и СИД в разные месяцы сезона



продемонстрировали высокую положительную корреляционную связь с содержанием С_{орг} (%) в почвенном профиле ($r = 0.91-0.99$, $p < 0.05$) и среднюю по силе отрицательную с pH почв ($r = -0.62-0.75$, $p < 0.05$).

Рисунок 1. А – годовая динамика ПД в трех типах лесных биогеоценозов лесостепной зоны Средней Сибири (n=5); В – БД и СИД органического (О) и гумусового (АУ) горизонтов

дерново-подзолистых почв на тех же участках (данные логарифмически преобразованы, $n=3$); 1 – сосняк осочково-зеленомошный (средневозрастный), 2 – сосняк осочково-зеленомошный (старовозрастный древостой), 3 – березняк орляково-вейниково-осочковый; указаны среднемесячные значения и стандартные ошибки.

Следует, подчеркнуть, что четкой зависимости между потенциальной микробной дыхательной активностью почв (БД и СИД) и прямыми измерениями эмиссии CO_2 *in situ* в сезонной динамике не обнаружено: высокая положительная корреляция обнаружена только в горизонте АУ для СИД средневозрастного сосняка и березняка ($r = 0.81-0.95$, $p < 0.05$) и для БД березняка ($r = 0.96$, $p < 0.05$). Вместе с тем, средние величины (июнь-сентябрь) параметров БД и СИД для подстилок и гумусового горизонта почв исследованных лесных биогеоценозов тесно коррелируют ($r = 0.91-0.98$, $p < 0.05$) с соответствующими значениями ПД и демонстрируют схожую тенденцию увеличения значений от старовозрастного сосняка к березняку. Ранее показано, что временное варьирование эмиссии CO_2 с поверхности почвы контролируется в основном гидротермическими условиями, количеством и качеством поступающих в почву корневых экссудатов и отмерших растительных остатков. Варьирование же дыхательной активности почв, измеренной в лабораторных условиях, определяется, главным образом, валовым содержанием органического вещества в инкубируемом образце почвы и его влажностью на момент отбора, тогда как температура поддерживается в условно оптимальном диапазоне функционирования микроорганизмов (22–25°C). Таким образом, выявленные нами различия в сезонной динамике ПД, БД и СИД обусловлены в той или иной степени вышеупомянутыми факторами и/или их комбинацией, тогда как средние величины, полученные для отдельных биогеоценозов, контролируются запасами почвенного органического вещества.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.433.3 + 581.5

ВЛИЯНИЕ ТИПА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ДИНАМИКУ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ КАРЕЛИИ

Мошкина Е.В.¹, Мамай А.В.¹, Дубровина И.А.², Медведева М.В.¹

¹Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail: lena_moshkina@mail.ru;

²Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Характер землепользования оказывает значимое влияние на все свойства почв, а также на характеристики экосистемных пулов и потоков углерода. В настоящее время оценка землепользований в таежных экосистемах является актуальной и востребованной, в том числе в контексте глобальных климатических изменений. Сейчас климатическая повестка ориентирована на низкоуглеродную экономику и бережное отношение к окружающей среде. Важным аспектом рационального землепользования является сокращение выбросов парниковых газов, в первую очередь CO_2 , в атмосферу. Отметим, что за последние 260 лет концентрация парниковых газов: CO_2 , CH_4 и N_2O в атмосфере увеличилась в 1.4, 2.5 и 1.2 раз соответственно. В 90-х годах прошлого столетия на территории России из сельскохозяйственного оборота были выведены значительные территории (порядка 45 млн. га) земель, которые в настоящее время вовлечены в постагрогенные процессы, в том числе естественного лесовосстановления. В данном исследовании проведен анализ дыхательной активности почв разных категорий землепользования: пашни, сенокосы, молодые лесные сообщества на постагрогенных землях, средневозрастные леса на постагрогенных

территориях и коренные или ненарушенные среднетаежные леса. Для анализа использовали четыре серии пробных площадей (ПП), почвы которых сформировались на разных почвообразующих породах. Были подобраны участки в автоморфных позициях ландшафтов на зональных песчаной и суглинистой моренах, а также на уникальных азональных – шунгитсодержащих породах и на малиновом кварците. Измерение CO_2 эмиссионной активности проводили в течение нескольких вегетационных периодов с использованием камерного метода и портативного газоанализатора (на основе AZ). Оценка эмиссии CO_2 с поверхности почв позволяет судить об интенсивности трансформации органического вещества почвы. Скорость эмиссии CO_2 имеет четко выраженную сезонную динамику и детерминируется гидротермическими условиями. В лесных сообществах скорость выделения углекислого газа увеличивается с возрастом насаждений. На участках, где ведется сельскохозяйственная деятельность интенсивность выделения CO_2 с поверхности почв зависит от вида возделываемых культур: так, при выращивании многолетних трав и бобовых культур на силос наблюдаются значительно более высокие показатели эмиссии диоксида углерода с поверхности почв по сравнению с пашней под картофелем. Определены потоки диоксида углерода за вегетационный период (с мая по октябрь) с поверхности песчаных ($225\text{--}552 \text{ гС/м}^2$) и суглинистых ($110\text{--}450 \text{ гС/м}^2$) почв в зависимости от гидротермических условий и землепользования. Методом дисперсионного анализа установлена пространственная неоднородность процесса образования CO_2 . Выявлены различия эмиссии CO_2 с поверхности почв в зависимости от типа почв, категории землепользования, вида растительности. Отмечена тенденция увеличения дыхательной активности азональных почв по сравнению с зональными. Изучение эмиссии CO_2 с поверхности почв постагрогенных ландшафтов, земель сельскохозяйственного использования и коренных лесов разных регионов России крайне важно в связи с необходимостью оценки баланса углерода и построения прогнозных моделей и экономической оценки динамики пулов углерода наземных экосистем.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6) и за счет средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

УДК 631.41

СЕКВЕСТРАЦИЯ УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ ЗОЛОТВАЛОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Некрасова О. А., Учаев А.П., Петрова Т.А., Радченко Т.А., Бетехтина А.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, o_nekr@mail.ru

Изменение климата является одним из наиболее серьезных вызовов XXI века. Леса России вносят существенный вклад в глобальный круговорот углерода. В таежной зоне лесные сообщества, формирующиеся на угольных золоотвалах, также секвестрируют парниковый газ (CO_2) и депонируют углерод в биомассе и в почве, однако работы, посвященные запасам углерода в лесных почвах на техногенных субстратах, практически отсутствуют. Целью данной работы была оценка участия молодых почв лесных сообществ золоотвалов в секвестрации углерода почвами южнотаежных лесов с учетом их физико-химических свойств.

Для исследования были выбраны золоотвалы трех электростанций (Среднеуральской, Верхнетагильской и Нижнетуриной) возрастом 50–60 лет, сложенные летучей золой бурых

углей из различных месторождений. В процессе самозарастания золоотвалов в условиях южной тайги за прошедшее время сформировались смешанные лесные фитоценозы с доминированием березы (*Betula pendula*) и осины (*Populus tremula*), близкие по составу к зональным вторичным лесам. Сформировавшиеся на золоотвалах молодые почвы, имеющие разную степень дифференциации, были классифицированы как эмбриоземы или Technosols. Средневзвешенные физико-химические характеристики молодых почв, формирующихся в верхней 20-см толще золоотвалов, свидетельствуют об их разнообразии по реакции среды (рН варьирует от 5,1 до 7,4), содержанию $C_{орг.}$ (изменяется от 3,3 до 6,0 %) и остальным исследуемым показателям, т. е. эмбриоземы лесных участков золоотвалов гетерогенны по характеристикам вещественного состава так же, как и зола на глубине 20–40 см.

Запасы органического углерода в молодых почвах, формирующихся на золоотвалах, имеют значения от 23 до 83 т/га (в среднем – 43,7 т/га), т.е. варьируют более чем в 3 раза. Значимые различия между накоплением углерода в молодых почвах разных золоотвалов отсутствуют. Даже в пределах одного золоотвала значения существенно различаются. Установленные запасы углерода в эмбриоземах лесных сообществ золоотвалов практически в 2 раза меньше запасов $C_{орг.}$ в почвах зональных хвойных лесов южной тайги Среднего Урала, составляющих по данным разных авторов от 88 т/га до 94,6 т/га.

На содержание и запасы углерода в молодых почвах наибольшее влияние оказывает количество подвижных соединений фосфора в исследуемых пределах его содержания (К соответственно равны -0,58 и -0,53). При этом при моделировании запасов углерода в техногенных лесных экосистемах необходимо учитывать, что содержание подвижных фосфатов в свою очередь коррелирует с количеством обменного кальция, а кальций определяет реакцию среды.

Запасы углерода в подстилках эмбриоземов лесных участков составляют от 1,0 до 5,8 т/га (в среднем – 3,2 т/га). Подстилки техноземов золоотвалов характеризуются существенно меньшими запасами $C_{орг.}$ по сравнению с подстилками зональных почв южной тайги, в которых запасы углерода оцениваются по разным источникам в 8,8–11,3 т/га или 9,0 т/га. На запасы углерода в подстилке наибольшее влияние оказывает содержание в ней обменных катионов кальция, а также магния (К соответственно равен -0,68 и -0,69), что означает, что в их присутствии происходит лучшее ее разложение.

Результаты настоящего исследования могут послужить для лучшего понимания и заполнения пробелов в области депонирования углерода почвами, а также нацелены на привлечение внимания к лесным сообществам на занимающих большие площади техногенных образованиях с целью учета вклада их компонентов в секвестрацию углерода.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-20010, <https://rscf.ru/project/24-24-20010/>

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ЭМИССИЮ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ПРИБРЕЖНЫХ ПОЧВ

Нестерова О.В.¹, Бовсун М.А.¹, Яцук А.В.²

¹ ДВФУ, Владивосток, nesterova.ov@dvfu.ru;

²ТОИ ДВО РАН, Владивосток, cuk83@mail.ru

За последние годы в результате роста эвтрофикации океана количество выбросов на берег морских макрофитов увеличилось. Рост количества водорослей на пляжах имеет такие последствия как: снижение ценности рекреационных территорий; опасность для здоровья человека вследствие содержания в некоторых видах тяжелых металлов и токсичных соединений; увеличение выбросов парниковых газов в атмосферу. Отмечается, что в результате гниения штормовых выбросов возможны ускорение потерь углерода прибрежных экосистем и увеличения их вклада в общую эмиссию парниковых газов.

Большинство оценок поглощения углерода морскими водорослями основаны на экстраполяции скоростей поглощения углерода, размера пула углерода в биомассе морских водорослей, экссудации растворенного органического вещества, микробной минерализации, адвекции углерода, фиксируемого морскими водорослями, в донные отложения или на глубину. Другими словами, оценки поглощения углерода морскими водорослями являются расчетными методами, одним из минусов которых является возможная недооценка или переоценка процессов, происходящих в естественных экосистемах.

Цель настоящего исследования – анализ потоков парниковых газов из прибрежных почв, находящихся под влиянием морских прибрежных выбросов макрофитов в бухте Киевка Японского моря.

Исследование проводилось в августе 2023 года. Исследуемый участок расположен вблизи одной из площадок Карбонового полигона РФ «Дальневосточный» МБС «Заповедное» (морская биостанция «Заповедное», с. Заповедное, Приморский край, РФ). В качестве объектов исследования были выбраны прибрежные почвы четырех типов береговых участков: WM – влажные береговые выбросы морских макрофитов; DM – сухие береговые выбросы морских макрофитов; CR – участок первого берегового вала; ST – участок морской террасы (рисунок 1). Для каждого участка измерения проводились в трехкратной повторности.

WM	DM	CR	ST
участок 1	участок 1	участок 1	участок 1
участок 2	участок 2	участок 2	участок 2
участок 3	участок 3	участок 3	участок 3

Рисунок 1 – Схема вариантов измерений потоков CO₂ 3 августа 2023 года. WM – влажные береговые выбросы морских макрофитов; DM – сухие береговые выбросы морских макрофитов; CR – участок первого берегового вала; ST – участок морской террасы. Измерение концентраций парниковых газов проводилось при помощи портативного лазерного газоанализатора Picarro 4301 GasScouter analyzer совместно с камерой Picarro Mobile Soil Flux System, A0947. Для расчёта эмиссии углекислого газа использовалась формула линейной зависимости концентрации газа от времени, а для оценки достоверности измеренных данных о потоке использовали коэффициент детерминации R₂. Температура и давление воздуха в лаборатории, необходимые для расчета потока газа, измерялись с помощью погодного датчика Vaisala WXT520 (Vaisala, Хельсинки, Финляндия).

В результате проведенного измерения, получена существенная разница потоков CO₂ между участками с наличием морских макрофитов и без них. Наибольшее среднее значение потока CO₂ 1578,85 ± 13,79 мг CO₂ м⁻²ч⁻¹ получено на участке DM. Согласно результатам исследования наибольшие значения потока CO₂ были получены из образцов водорослей с постоянным увлажнением. Образцы с отсутствием увлажнения выделяли на 72 % меньше CO₂ по сравнению с образцами с наименьшим увлажнением. В результате данного измерения на участках WM поток CO₂ был в среднем на 22 % меньше, чем поток на участках DM и составлял 1296,27 ± 15,36 мг CO₂ м⁻²ч⁻¹.

Наименьшее среднее значение потока CO₂ -42,29 ± 5,69 мг CO₂ м⁻²ч⁻¹ получено на участке CR. Участки CR были сложены галечником почти с полным или частичным отсутствием выброшенных на берег морских макрофитов. В периоды штормов данные участки заливаются водой, что в совокупности со слагающим материалом не дает возможности сформироваться устойчивому микробиологическому сообществу, которое бы вносило вклад в производство CO₂.

На участках ST среднее значение потока составило CO₂ 163,95 ± 1,97 мг CO₂ м⁻²ч⁻¹. Данные участки по сравнению с участками CR сложены песчаной фракцией и имели изреженные заросли травянистой и кустарниковой растительности, что говорит о большей стабильности

экосистемы и наличии постоянных питательных веществ для роста и развития растений. Следовательно, на данных участках происходят микробиологические процессы, которые приводят к выделению CO₂.

В среднем поток на участках с наличием морских макрофитов (и влажных и сухих) был в 23 раза больше, чем на участках с отсутствием морских макрофитов.

Несмотря на существенную разницу в полученных потоках мы не можем проецировать их на длительные временные периоды. Это связано с тем, что измерения проводились, в течение одного дня в определенных условиях, который не является репрезентативным даже для летнего периода. Следует отметить, что в период измерения 3 августа температура воздуха колебалась в пределах от 23,4 до 25,4⁰ С, давление воздуха в пределах от 999,2 до 999,7 мбар. Видовой состав выброшенных на берег водорослей был в основном *представлен Laminaria sp.* и *Zostera marina*.

Август для большинства растений на территории Приморского края является пиком периода вегетации. Таким образом для понимания динамики потока CO₂ в течение весенне-осеннего или круглогодичного периода необходимо проведение соответствующих мониторинговых исследований. Данное исследование является начальным этапом для расчета оценки вклада прибрежных территорий в эмиссию парниковых газов в атмосферу. Мы понимаем, что для полной количественной и качественной оценки необходимо проведение регулярных измерений в сезонной динамике. Также необходима оценка количества выбросов морских макрофитов на исследуемой территории, что и предполагается в дальнейших исследованиях. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2023-0019 «Оценка секвестрационного потенциала прибрежно-морских экосистем».

УДК 631.487; 551.89

ПОКАЗАТЕЛИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ ДЛЯ МОДЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ОСАДКА ПРИ ПОЧВООБРАЗОВАНИИ

Остроумов В.Е.¹, Дергачева М.И.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, v.ostroumov@rambler.ru;

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, mid555@yandex.ru

В обнажении Володарка (Приобское плато) рассматривается фрагмент почвенно-осадочной последовательности, соответствующей морской изотопной стадии MIS 15. Изучаемый разрез включает чередование трех погребенных почв, которые идентифицируются как черноземы с признаками луговости (теплый влажный климатический этап). Погребённые почвы разделены слоями лёсса (холодные условия с переменной аридностью). Распределение органического углерода в ритмично организованной последовательности представляет собой запись периодических изменений режима осадконакопления и биоклиматических условий. Показано, что содержание органического углерода определяет оптические свойства материала, что в свою очередь дает возможность оценивать распределение углерода по результатам измерения яркости точек на фотографии поверхности обнажения. Для характеристики распределения органического углерода в толще по фотографии выполнены измерения коэффициента поглощения оптического излучения. Благодаря большому числу замеров оптического поглощения полученные данные позволяют описать наблюдаемую в обнажении ритмичность распределения органического углерода с высокой детальностью. Это дает возможность использовать результаты обработки изображений в качестве исходных данных в модели накопления континентального осадка и его трансформации при почвообразовании.

В изучаемом разрезе слои светло-желтого лёсса сложены золовым материалом с содержанием органического углерода не выше 0,5... 1,5% с отношением $C_{гк}/C_{фк}$ 0,2 ... 0,4.

Погребенные почвы каждого ритма имеют черноземовидный облик и содержат 3 ... 5 % органического вещества гуматного состава (отношение $C_{гк}/C_{фк}$ до 2,07). Черноземы формировались в биоклиматической обстановке высокопродуктивных влажных степей, причем осадконакопление замедлялось настолько, что время экспонирования осадка на поверхности было достаточным для формирования почвенных профилей.

Увеличение содержания органического углерода в почвах и лёссе сопровождается ростом значений оптического поглощения. Для определения длин волн, обеспечивающих наибольшую контрастность распределения органического углерода по показателю поглощения в оптическом диапазоне, измеряли яркость точек на фотографии поверхности обнажения для компонентов цветовой схемы RGB, которые соответствуют 435,8, 546,1 и 700,0 нм. Сравнение распределений оптического поглощения в изучаемой толще на указанных длинах волн показало, что наибольшая контрастность достигается при 700 нм. Коэффициент поглощения на этой длине волны тесно связан с содержанием органического углерода, и эта зависимость удовлетворительно (коэффициент детерминации 0,951) аппроксимируется квадратичной зависимостью. Указанная связь позволяет использовать коэффициент поглощения для компонента R схемы RGB, который соответствует длине волны 700 нм, как характеристику содержания органического углерода в материале почвенно-осадочной последовательности.

Значения коэффициента поглощения рассчитывали по измеренным яркостям точек на фотографии обнажения. Замеры проводились с шагом по глубине 15 мм, соответствующим размеру точки на изображении с трехкратной повторностью на каждой из глубин. Полученный таким способом массив включает 2500 замеров коэффициента поглощения в 36-метровой толще. Для каждой глубины коэффициенты поглощения усредняли, затем кривую распределения сглаживали и нормировали для приведения полученных значений к пределам от 0 до 1, чтобы в дальнейшем сопоставить с этой кривой модельное распределение степени трансформации осадка при почвообразовании.

Для количественной реконструкции истории накопления осадка и биоклиматических изменений по записи, содержащейся в распределении органического углерода и оптического поглощения, требуется модель «глубина-время», которая описывала бы процессы накопления осадка и его трансформации при почвообразовании. Существующие модели «глубина-время», построенные на простых аппроксимациях, хорошо описывают распределение изотопных, люминесцентных, палеомагнитных и других дат по глубине в конкретных разрезах, но для геологической корреляции на количественной основе мало пригодны. Модели, основанные на статистическом анализе больших массивов датировок, позволяют объединить в едином построении разнородные данные. Однако, такие модели не учитывают особенностей осадочного процесса и изменения условий, в которых протекало формирование почв. Предлагаемая модель «глубина-время» рассматривает почвенно-осадочную последовательность как продукт одновременного накопления континентального осадка и изменения его свойств при почвообразовании. Она объединяет возможности прямых аппроксимаций с описанием режима осадконакопления и динамики биоклиматических условий.

Рассматриваемая модель «глубина-время» включает блоки аппроксимации распределения оптического поглощения материала по глубине почвенно-осадочной последовательности, расчета динамики интенсивности потока осадка, поступающего на поверхность, вычисления возраста осадка по глубине последовательности, расчета времени жизни осадка в зоне влияния факторов почвообразования на разных глубинах и расчета распределения степени трансформации осадка при почвообразовании. Входные данные представляют собой массив измеренных коэффициентов оптического поглощения материала почвенно-осадочной последовательности по глубине. В результате получается распределение степени трансформации осадочного материала при почвообразовании.

Модель основана на функции, которая аппроксимирует распределение оптического поглощения по глубине толщи с погребёнными почвами. Эта периодическая функция имеет вид суммы синусов и достаточно точно воспроизводит оптическое поглощение и содержание органического углерода по глубине в ряду четырех слагаемых. Замена коэффициентов в этой функции на значения, определяющие динамику интенсивности потока осадка, поступающего на поверхность, позволяет количественно описывать динамику осадочного процесса. Использование такой же функции с коэффициентами, определяющими скорость накопления органического вещества, отображает временную изменчивость биоклиматических условий. Объединение в одной модели функций, задающих динамику накопления осадочной толщи и биоклиматические изменения, позволяет вычислить распределение степени трансформации осадка по глубине почвенно-осадочной последовательности. На заключительном шаге работы с моделью вычисленное распределение степени трансформации осадка при почвообразовании сопоставляется с измеренным распределением коэффициента оптического поглощения.

Приближение вычисленного распределения степени трансформации к измеренному распределению коэффициента оптического поглощения свидетельствует о том, что коэффициенты, определяющие динамику интенсивности потока осадка и коэффициенты, определяющие скорость трансформации осадка, адекватно отражают динамику осадконакопления и биоклиматических условий, в которых происходило накопление почвенно-осадочной последовательности.

Полученные данные показывают, что предлагаемая модель «глубина-время» пригодна для количественной реконструкции седиментологической и биоклиматической истории формирования почвенно-осадочной последовательности с использованием распределения коэффициента оптического поглощения в качестве исходных данных.

Работа выполнена по темам государственных заданий 122040500038-3 и 121031700309-1.

УДК 631.452

631.95

БАЛАНС УГЛЕРОДА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ-СИДЕРАТОВ В РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ

Павлова Ю.Л., Пронович Н.А., Курынцева П.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, pavlovajuliaa02@gmail.com;
NaAPronovich@kpfu.ru; polinazwerewa@yandex.ru

В связи с постоянным ростом населения Земли остро стоит вопрос о сохранении почвенного плодородия, т.е. сохранении углерода в почве, как следствие снижение эмиссии парниковых газов от сельскохозяйственных почв. Сравнение разных агротехнических приемов друг с другом по степени негативного влияния на глобальное изменение климата проводится на основе рассчитанного углеродного следа процесса или продукта, получаемого при реализации данного подхода. Понимание величины углеродного следа сельскохозяйственной продукции поможет скорректировать методы ведения сельского хозяйства и сделать упор на применение низкоуглеродных технологий. Разработка методов управления почвенными ресурсами для увеличения плодородия почв, увеличения улавливания CO₂ в фитомассе растений (в случае бобовых и N₂), для снижения эмиссии парниковых газов является одним из способов достижения сельским хозяйством углероднейтральности. Например, таким методом является использование сидератов. На основании как краткосрочных, так и долгосрочных исследований показано, что использование сидерального пара приводит к снижению затрат на минеральные удобрения на 20-40%, к увеличению содержания органического углерода в почве на 3,95-4,15%, общего азота – на 1,22-1,74%, существенно увеличивает урожайность, увеличивает численность и разнообразие почвенных микробов, подавляет рост сорняков. Поэтому целью данного исследования являлось установить

эффективность улавливания С из атмосферы растениями-сидератами (Донник белый, Донник желтый, Люпин узколистый, Вика яровая, Овес яровой, Фацелия, Редька масляничная, Горох полевой, Рапс яровой, Горчица белая, Горох посевной, Гречиха, Клевер красный, Горчица сарептская, Ячмень яровой) в разных температурных режимах. В рамках исследования был поставлен вегетационный эксперимент в условиях оранжереи на серой лесной почве, отобранной в районе с. Большие Кабаны (55.640794, 49.319895, Татарстан, Россия) в трех температурных режимах (20°C – базовый, 25°C и 30°C – повышенная температура), содержание CO₂ в атмосфере 390-420 ppm, режим освещённости – свет:темнота 16:8, интенсивность освещения 400-500 Вт/м², относительная влажность воздуха 50-55 %, влажность почвы 55-60% от общей влагоемкости. Почва, использованная в эксперименте, была охарактеризована по физико-химическим параметрам (рН, Р_{подв}, К_{подв}, N_{общ}, С_{общ}, С_{орг}, гранулометрический состав, емкость катионного обмена). На данной почве в течение 40 суток выращивали растения – сидераты, у которых в динамике эксперимента были определены морфометрические характеристики (длины и массы корней и побегов), содержание углерода в фитомассе, содержание хлорофилла, интенсивность фотосинтеза, а также эмиссия CO₂ из почвы на основании данных респираторной активности почвы, содержание общего и органического углерода в почве. Далее был рассчитан баланс углерода как разница между количеством углерода, уловленного фитомассой растений за период вегетации, и количеством углерода, выделенным из почвы вследствие изменения ее респираторной активности. Для всех полученных результатов была проведена необходимая статистическая обработка данных, включающая проверку на нормальность распределения и оценку достоверности полученных различий.

На основании полученных агрохимических данных установили, что почва обладает типичными для серых лесных почв параметрами. Растения по-разному реагировали на повышение температуры вегетации. Увеличение температуры вегетации до 30°C приводит к снижению SPAD, при этом показано, что содержание хлорофилла достоверно не изменяется в зависимости от времени вегетации для большинства растений, за исключением Люпина узколистного и Гороха посевного. Интенсивность фотосинтеза снижается с увеличением температуры и со временем вегетации растения, вероятно это связано с активацией механизмов фотодыхания. Показано, что максимальные длины корней достигались к 63 суткам, однако максимальный прирост отмечен на 7-35 сутки. К сидератам с максимальными длинами корней относятся Горох полевой, Рапс яровой, Вика яровая, Горчица сарептская, Овес яровой, Люпин узколистый, Горох посевной, к сидератам с минимальными длинами корней относятся – Фацелия, Донник белый, Донник желтый. Различия в реакции корней на температуру почвы существуют между видами растений, что объясняет разное развитие корней в разных температурных условиях. Увеличение температуры вегетации привело к увеличению длины корня. Показано, что максимальными длинами побегов при всех температурных режимах характеризовались Фацелия, Ячмень яровой, Вика яровая, Рапс яровой, Горчица сарептская, Редька масляничная и Овес яровой, минимальными – Донник белый, Клевер красный, Донник желтый. Увеличение температуры вегетации привело к увеличению длины побега. Показано, что максимальной биомассой к 63 суткам обладали растения Рапс яровой, Горчица белая и Редька масляничная. Несмотря на то, что с увеличением температуры происходило увеличение длин корня и побега, биомасса, в целом, достоверно не изменялась с увеличением температуры вегетации. Согласно полученным данным минимальное содержание углерода в фитомассе растений наблюдается на 14 сутки (15-36%), далее содержание углерода увеличивается и варьируется в диапазоне 18-56%. Достоверных отличий в содержании углерода в зависимости от вида растения и температуры вегетации не установлено. Респираторная активность минимальная на 7 сутки, далее происходит ее увеличение на 21-42 сутки с последующим снижением к 63 суткам, что коррелирует с данными о приросте длины корня и фазой вегетации растений. Увеличение температуры привело к увеличению респираторной активности. Установленные значения

респираторной активности являются типичными для серой лесной почвы. Показано, что максимальной улавливающей способностью характеризуются Рапс яровой, Вика яровая, Горчица белая и Редька масляничная, минимальной – Гречиха, Донник белый, Клевер красный, Донник желтый на 63 сутки эксперимента, наиболее эффективно улавливание углерода в фитомассе растений сидератов происходит при температуре 25°C. Максимальной эмиссией углерода характеризовалась почва под Ячменем яровым, Редькой масляничной, Овсом яровым, Люпином узколистным, минимальной – Горохом посевным, Клевером красным, Донником белым, наибольшая эмиссия углерода из почвы была установлена для температуры 30°C. Максимальной способностью улавливать углерод из атмосферного воздуха, фиксировать его в своей фитомассе и не приводить к существенному увеличению эмиссии CO₂ за счет почвенного дыхания обладали Рапс яровой, Вика яровая, Редька масляничная, Горчица белая. Наиболее эффективно сидераты, как уловители углерода, проявили себя при температуре 25°C. Установленные зависимости показывают, что к высокоэффективным сидератам (баланс углерода изменяется в диапазоне 100-250 кг/га) относятся Вика яровая и Рапс яровой. Для растений-сидератов – эффективных и высокоэффективных уловителей С – показано, что максимальной скоростью улавливания С характеризуются растения с 20 по 50 сутки вегетации, что соответствует условиям незрелых семян и ограниченного срока вегетации после уборки озимых культур.

По результатам исследования установлено, что вегетация сидератов в течение 63 суток на открытой пашне после уборки озимых культур может привести к фиксации до 388 кгС/га. Наиболее эффективно было бы культивировать Рапс яровой, Вику яровую, Редьку масляничную, Горчицу белую с точки зрения фиксации углерода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-26-00275

УДК 574.7

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЭМИССИИ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМ КАРЕЛИИ

Придача В.Б., Семин Д.Е.

Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, pridacha@krc.karelia.ru

Дыхание почвы наряду с поглощением растениями CO₂ из атмосферы в процессе фотосинтеза в наибольшей степени определяют углеродный баланс наземных экосистем. В природных экосистемах отмечают неоднородность дыхания почв вследствие высокой пестроты и мозаичности почвенного покрова. Особую проблему представляют антропогенные ландшафты, поскольку разработка и добыча полезных ископаемых открытым способом оказывает деструктивное влияние на растительный и почвенный покров наземных экосистем. Вместе с тем исследования о составляющих углеродного баланса посттехногенных экосистем немногочисленны. В этой связи особый интерес представляет исследование пространственно-временной динамики эмиссии CO₂ с поверхности почв антропогенно нарушенных лесных экосистем.

Исследование проводили в европейской части средней тайги (Республика Карелия, Кондопожский район) на сопредельных пробных площадях (ПП), заложенных в 30-летних сосняках лишайниковом (ПП 1) и черничном (ПП 2), сформированных на посттехногенных землях песчано-гравийного карьера, и в естественной среде 110-летнего сосняка брусничного (ПП 3) в июле 2023 г. Рекультивацию карьера провели в 1991 г. посредством посадки сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на участке площадью 2 га. Также на участке площадью 0.5 га сеянцы сосны высаживали в песчаный техногенный грунт, обогащенный торфяным субстратом. Через 30 лет после проведения рекультивационных мероприятий проведено исследование почвенной эмиссии CO₂ на модельных участках (размером 25 × 40 м) с разными вариантами рекультивации: 1) посредством посадки сосны в

песчано-гравийный минеральный грунт (ПП 1); 2) в улучшенный торфом субстрат (ПП 2). Естественные почвы (подбур оподзоленный, Entic Podzol) ненарушенного сосняка брусничного, существовавшего на данной территории до начала разработки карьера, послужили контролем (ПП 3). Почвы посттехногенных ПП 1 (псаммозем серогумусовый, Skeletic Leptosol) и ПП 2 (реплантозем серогумусовый, Umbric Leptosol) находятся на начальных стадиях почвообразования и имеют укороченный маломощный профиль (30–35 см), для которого отмечена слабая дифференциация на генетические горизонты.

Полевые исследования почвенной эмиссии CO₂ проводили методом закрытых камер посредством инфракрасного газоанализатора LI-8100A (LI-Cor Inc., США), оснащенного датчиками температуры почвы (Omega, США) и влажности почвы ECH₂O EC-5 (Decagon Devices, Inc., США), в дневной и суточной динамике с периодичностью 6 раз в месяц. Для проведения измерений на экспериментальных участках за несколько дней до начала наблюдений устанавливали по 10 оснований из поливинилхлорида диаметром 20 см и высотой 12 см на глубину 6 см. Измерения потоков CO₂ с поверхности почвы на всех ПП проводили в двух вариантах: 1) на основаниях с напочвенной растительностью; 2) на основаниях без напочвенной растительности. В посттехногенном сосняке лишайниковом в живом напочвенном покрове доминируют лишайники *Stereocaulon tomentosum* и *Cladonia* sp., в сосняке черничном – *Vaccinium myrtillus* L., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt, *Dicranum scoparium* Hedw., в естественном сосняке брусничном – *Vaccinium vitis-idaea* L., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.

Важно отметить, что июль 2023 г. был холодным ($\Delta T_{\text{мес}} < -1.6$) и очень дождливым (189 % нормы). Значительный избыток осадков (147 % нормы) наблюдался в короткий период с 21 по 25 июля. Анализ среднесуточных и средних за месяц величин почвенной эмиссии CO₂ с учетом значений, полученных в конце июля после экстремальных дождей, выявил наибольшую изменчивость потока CO₂ с поверхности почв ПП 1, значения которого увеличились в варианте с напочвенной растительностью и без нее на 35 и 10 % соответственно. При этом в естественной среде ПП 3, также как и посттехногенной среде ПП 2, увеличение почвенной эмиссии после экстремальных осадков отмечено только для оснований с напочвенной растительностью на 6 %. Вместе с тем наиболее высокие среднедневные и среднесуточные значения эмиссии CO₂ с поверхности почв выявлены в естественной среде ПП 3 для варианта как с напочвенной растительностью, так и без нее. Показатели посттехногенных ПП 1 и ПП 2 относительно ПП 3 были меньше в 4–6 и 1.2–1.5 раза соответственно. Наибольшие различия среднедневных, среднесуточных и средних за месяц величин почвенной эмиссии CO₂ между вариантами наблюдений также были отмечены для ПП 3 (49–59 %) по сравнению с ПП 1 (8–32 %) и ПП 2 (19–27 %). Отмеченные различия почвенного дыхания в условиях посттехногенных сосняков лишайникового и черничного и естественной среде сосняка брусничного, очевидно, обусловлены разными биогеоценотическими условиями, в частности разной полнотой и сомкнутостью древостоя, а также составом напочвенного покрова, которые определяют разную степень прогрева почвы и ее объемную влажность. Существенное влияние оказывает и световой режим экспериментальных участков, который обуславливает и разную активность процессов поглощения и выделения CO₂ растениями напочвенного покрова. Представляется вероятным и разный вклад автотрофной и гетеротрофной компоненты в общую эмиссию CO₂ с поверхности почв разных сосняков в суточной динамике. Для выявления более точных оценок почвенного дыхания с учетом его пространственной и временной изменчивости необходимы дополнительные исследования по круглосуточной схеме в разных биогеоценозах.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и

бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.42

ПРОЦЕССЫ ДЕСТРУКЦИИ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Раудина Т.В.¹, Смирнов С.В.^{1,2}, Истигечев¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, tanya_raud@mail.ru;

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, smirnov@imces.ru

Растворенное органическое вещество (РОВ) является одним из крупнейших биологически доступных источников углерода в водных экосистемах, а его динамика имеет решающее значение для локального и глобального циклов углерода. Воды бореальных ландшафтов Западной Сибири отличаются высоким содержанием РОВ, количество и состав которых изменяется в пространстве и во времени. При этом болота являются для большинства рек и озер этой территории важным стокоформирующим ландшафтом и главенствуют среди факторов, определяющих их гидрохимические параметры. Трансформация РОВ во время его миграции является важным процессом, который обеспечивает существование биологических циклов элементов в природе и стабильности водных экосистем. Под воздействием гетеротрофных бактерий на РОВ и органо-минеральные коллоиды, а также их фотолиза происходит выброс CO² в атмосферу, удаление растворенных микроэлементов посредством осаждения и коагуляции. В этой связи почвенные воды этого региона, обогащенные РОВ, представляют особый интерес с точки зрения оценки потенциала деструкции.

Исследование проводилось на территории Бакчарского болотного комплекса (северо-восточная часть Васюганских болот, 56°57'11"N; 82°30'29"E). Для экспериментального изучения процессов деструкции использовались почвенные и поверхностные воды, что позволило проследить степень трансформации РОВ и его оптических параметров от торфяных почв через небольшие водотоки к более крупным рекам. В течение трех полевых сезонов 2020 г. пробы воды отбирались в предварительно очищенные банки для дальнейшей фильтрации. Биодоступность оценена с помощью инкубационных экспериментов, представляющих собой показатель микробного поглощения и минерализации. Для этого образцы воды фильтровались (Whatman, поры 0,7 мкм) в течение 24 часов. Тройные аликвоты объемом 30 мл из отфильтрованной воды помещались в предварительно автоклавированные боросиликатные стеклянные флаконы объемом 40 мл без добавления питательных веществ и хранили при 23±1°C в темноте в термостате в течение 30 суток. В ходе эксперимента по фотодеструкции образцы подвергались прямому воздействию солнечного света, а для контроля и сравнения динамики изменения проб часть проб была закрыта фольгой. Отобранные пробы вод фильтровались в ламинарном шкафу в темноте через одноразовые стерильные фильтровальные установки фильтр (0,22 μm, Millipore), что позволяло получить стерильный раствор и защищало от воздействия солнечного излучения для избежания преждевременного разложения растворенного органического углерода (РОУ). Пробы в герметично закрытых стерильных кварцевых пробирках размещались под открытым солнцем в натуральных условиях. Все образцы повторно фильтровали после 0, 2, 7, 14, (21) и 28 дня инкубации (t отбора). Определялось содержание (Vario TOC Cube), pH, электропроводность (WTW Multi3320), и спектрофотометрические характеристики (Variscen, Cary 50 Scan. UV-Visible). Био- и фоторазлагаемый растворенный органический углерод (%БРОУ и %ФРОУ, соответственно) был рассчитан в процентах потерь относительно t=0 и контроля в каждый момент времени отбора проб. Проведенный анализ показал, что в целом воды практически не содержат растворенного кислорода, богаты углекислым газом,

обладают малой, средней минерализацией за счет атмосферного питания, кислой средой и высокой цветностью. Самые высокие значения рН наблюдались в реках (6,1–7,9), самые низкие в открытой осоково-сфагнуовой топи (3,7–4,2). Отмечалось постепенное снижение рН по рассматриваемому ландшафтному профилю (от р. Бакчар до открытой топи). Такая же закономерность прослеживается и по сезонам года. При этом максимальные величины приходится на май, что связано с разбавлением вод при повышении их уровня в этот период. Содержание РОУ достигает 100 мг/л и более. Минимальные величины характерны для открытой топи и р. Бакчар (41,4–56,6 и 23,2–52,6 мг/л, соответственно), а наиболее высокие концентрации РОУ наблюдаются в водах торфяных почв заболоченного леса и высокого рьяма. В мае содержание РОУ наименьшее, что может быть вызвано разбавлением тальными водами. В августе напротив – наибольшее, что связано с активизацией процессов разложения и трансформации растительных остатков и торфа. Значения показателя $SUVA_{254}$ в исследуемых объектах меняются от 2,5 до 5,6, достигая минимума в водах топи, что указывает на преобладание гидрофильного ОВ, имеющего наименьшую степень ароматичности. В водах ручья, заболоченного леса и высокого рьяма в мае и августе преобладает ароматическое гидрофобное органическое вещество ($SUVA_{254} \geq 4$). Оценивая преобладание автохтонного или аллохтонного РОВ (Е2:Е4), отмечается, что в мае превалирует аллохтонное органическое вещество (особенно в реках), а в октябре автохтонное. Значения Е4:Е6 ниже в августе и выше в мае (кроме р. Бакчар), что свидетельствует о более высокой степени гумификации ОВ в летний период. Содержание биоразлагаемого РОУ варьирует как по элементам ландшафта, так и по сезонам года. Происходит биодеструкция РОУ, которая максимальна во всех водах, отобранных в мае и минимальна в августе (за исключением р. Ключ и р. Бакчар). В болотных водах осоково-сфагнуовой топи, заболоченного леса и высокого рьяма прослеживается максимальный микробный распад РОУ, который приходится на май ($\%БРОУ \leq 20,1$) и октябрь ($\%БРОУ \leq 10,6$), что может быть связано в целом с наибольшим количеством бактерий в пробах воды в эти месяцы. На 7-14й дни эксперимента процессы биодеструкции ОВ протекают наиболее активно. Показатель $SUVA_{254}$ продемонстрировал резкое увеличение, а затем уменьшение (к 28 дню). С ним же согласуется отношение Е365/Е470, соответствующее функциональным группам, поглощающим УФ/видимое излучение. Е254/Е436, Е250/365 оставалось достаточно постоянным со временем. Также происходят рост значений рН, а электропроводность остается достаточно постоянной. В ходе эксперимента по фотодеструкции происходит заметное снижение концентрации на 3,5–35,2 % со временем, а также увеличивается рН и уменьшается электропроводность. Количество бактерий в начале эксперимента и через 14 и 28 дней инкубации составляло от 1 до 100 КОЕ/мл. Это в 100–1000 раз меньше, чем количество клеток в экспериментах по биодеградации, проводимых в нестерилизованной воде в течение того же периода времени. Таким образом, микробное разложение считалось незначительным для экспериментальных условий. При этом наибольший $\%ФРОУ$ отмечается в болотной воде осоково-сфагнуовой топи на протяжении всех дней эксперимента по сравнению с заболоченным лесом и высоким рьямом. В двух последних болотных экосистемах максимум фотодеструкции РОУ приходится на 21-й день солнечной инсоляции. Процент ФРОУ изменяется в ряду топь>заболоченный лес>высокий рьям. Изменение $\%ФРОУ$ имеет прямую зависимость от количества дней ($R^2=0,7-0,85$) воздействия солнечным светом и количества суммарной солнечной радиации. $SUVA_{254}$ также изменялся со временем от 4,9 до 2,3. Оптические свойства РОУ продемонстрировали значительное уменьшение отношения Е365/Е470. Отношение Е254 к Е436, соответствующее автохтонному и наземному РОВ, не продемонстрировало каких-либо значительных изменений в ходе эксперимента. Вероятней снижение РОУ происходит за счет его перехода в неорганическую форму (гидрокарбонаты и углекислый газ). Снижение содержания углерода также может быть связано не только с его разрушением и выделением углекислого газа, но и с параллельным процессом образования более высокомолекулярных

органических соединений или с их разрушением до низкомолекулярных, которые удаляются уже при повторной фильтрации. Увеличение доли низкомолекулярных соединений в свою очередь может повысить их биодоступность. Таким образом, при анализе состояния водно-болотных экосистем, оценки их влияния на другие водные объекты, а также прогнозировании поведения углерода необходимо учитывать выявленные различия и потенциальный вклад процессов деструкции РОВ в суммарную эмиссию CO². Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-17-00281

УДК 631.95

ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ЗАЛЕЖНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ОСТАТКОВ

Рижия Е.Я.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, alenaarizh@yahoo.com

В последние годы для реализации государственной экономической политики страны в области обеспечения продовольственной безопасности и минимизации негативных последствий её развития в условиях изменяющегося климата особое внимание уделяется заброшенным залежным землям, заросшим после прекращения выпашивания многолетними сорными травами и древесно-кустарниковой. В случае рекультивации залежных земель требуются культур-технические работы по очистке от зарослей кустарников и молодых деревьев. Сжигание древесно-кустарниковых остатков (ДКО) открытым способом на землях сельскохозяйственного назначения и землях запаса в соответствии с постановлением Правительства РФ №1213 от 10.11.2015 «О противопожарном режиме» (п. 218) в настоящее время запрещено. В этой связи стало актуальным применение современных и экологически безопасных технологий по переработке ДКО в древесную щепу, сечку, биоуголь или золу, с дальнейшей секвестрацией углерода данных продуктов в рекультивируемых почвах. Древесную щепу и стружку получают путем механической обработки различными рубильными машинами тонкомерных деревьев и сучьев, а биоуголь - путем сжигания данной биомассы в пиролизных печах при температурах выше 400 °С без кислорода. Накопленные научные сведения свидетельствуют, что биоуголь, внесенный в пахотную почву, способствует улучшению её плодородия через изменение водно-физических свойств и снижению эмиссии закиси азота. Подобные исследования на залежных землях до настоящего времени не проводились.

Целью данного исследования явилось изучение влияния продуктов переработки древесно-кустарниковых остатков, таких как древесная стружка, биоуголь и зола, на эмиссию диоксида углерода (CO₂) и монооксида диазота (закиси азота, N₂O) из дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, в условиях осваиваемой залежи. Изучались почвенные образцы, отобранные из гумусового горизонта (3–20 см) 15-летней залежи (д. Поги, Тосненский р-он Лен. Обл.). Почва дерново-подзолистая тяжелосуглинистая на озерно-ледниковых суглинках. Территория подвергнута в 2017 году культур-технической мелиорации под сенокосы для развития животноводства. Изучались следующие продукты ДКО: (1) древесная стружка (ДС) из расчета 100 т/га, (2) биоуголь (Б) - продукт пиролиза ДКО при температуре 450 градусов из расчета 10 т/га, (3) зола (ДЗ) – продукт сжигания ДКО после пиролиза из расчета 1 т/га. Отбор проб почвенного воздуха из сосудов проводился при помощи метода закрытых камер со следующей периодичностью: ежедневно – в первую неделю опыта, через 2 дня – во вторую неделю, дважды в неделю – в последующие недели опыта. Время экспозиции закрытых сосудов – 40 минут. Пробы отбирались трехходовым 60-мл шприцем и переносились в герметично закрытые пенициллиновые флаконы объемом 10 мл. Анализ концентрации почвенного воздуха на содержание углекислого газа проводился на газовом

хроматографе ПФД (АФИ, Россия), содержание закиси азота – на газовом хроматографе с детектором электронного захвата Carlo Erba Strumentazione 4130 (Италия).

Минимальные кумулятивные эмиссии углекислого газа наблюдались из варианта почвы с биоуглем и были не достоверно ($p > 0.05$) ниже на 27 % эмиссии из контрольного варианта. В варианте почвы с золой превышение эмиссии составило 39% ($p > 0.05$), по сравнению с контрольным вариантом. В варианте ДС эмиссия была максимальной и составила – 523 % ($p < 0.05$) от контрольного значения. Большая часть углерода в биоугле находилась в стабильной, недоступной для микроорганизмов форме и не приводила к росту эмиссии углекислого газа из почвы. Кроме того, биоуголь обладает высокой адсорбционной способностью, которая способствует удержанию подвижных органических соединений, что также способствует уменьшению выбросов CO_2 . Вариант с внесением золы занимает промежуточное положение между вариантами Б и ДС. Древесная зола может как способствовать увеличению эмиссии углекислоты, так и уменьшать ее. Можно предположить, что в нашем опыте увеличение эмиссии происходило за счет усиления микробиологической активности, в результате повышения доступности питательных веществ для микробиома и отсутствия конкуренции со стороны растений.

По количеству выделившейся закиси азота по окончании опыта варианты образовывали следующий ряд: ДС>контроль>ДЗ>Б. Минимальные суточные выбросы и минимальный кумулятивный поток закиси азота из почвы с внесением биоугля, можно объяснить тем, что добавка биоугля из листовенных пород снижает объемную плотность и увеличивает аэрацию почвы, что приводит к понижению эмиссии N_2O в суглинистой почве. Существуют различные механизмы, с помощью которых биоуголь подавляет выбросы N_2O , например, способствует снижению денитрификации, повышая рН почвы. В результате денитрификации происходит восстановление закиси азота до молекулярного азота за счет функционирования специализированного фермента - K_2O -редуктазы. Кроме того, внесение биоугля в кислые тяжелые почвы приводит к изменению состава грибкового сообщества. В результате повышения рН среды происходит подавление почвенных грибов, производящих закись азота, и увеличивается число бактерий, потребляющих N_2O , что препятствует в конечном итоге газообразным потерям азота из почвы. Меньшие выбросы закиси азота в варианте почва с добавлением золы, по сравнению, с контролем происходили по ряду причин. Древесная зола может смягчать выбросы N_2O из почвы, однако этот эффект зависит от типа почвы. Снижение выбросов закиси азота при внесении древесной золы наблюдался в основном на почвах отличающихся низкими значениями кислотности и высоким содержанием органических веществ, на минеральных почвах, где ранее были внесены азотные удобрения, напротив, отмечалось увеличение выбросов N_2O . Эмиссия закиси азота из варианта ДС, значительно падает в ходе эксперимента, данный факт, можно связать с иммобилизацией азота микроорганизмами в присутствии дополнительного источника углерода древесной стружки. Так как иммобилизация азота увеличивается при добавлении органических веществ с соотношением углерод:азот >18 .

Таким образом, минимальные кумулятивные эмиссии углекислого газа и закиси азота наблюдались в варианте почва с биоуглем.

УДК 631.95

ГОДОВОЙ ХОД ДЫХАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ВНОСИМЫХ УДОБРЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА МСХА ИМ. ТИМИРЯЗЕВА)

Рыжов А.В., Суховеева О.Э.

Институт географии РАН, 119017, Москва, ryzhovav94@gmail.com

Причиной глобального изменения климата считается повышение концентрации парниковых газов в атмосфере. Большинство парниковых газов содержат углерод, включая самые

распространенные – диоксид углерода CO_2 и метан CH_4 . Их исследования привели к повторной актуализации тематики биогеохимического цикла углерода. Роль наземных экосистем в этом цикле неоднозначна: они могут выступать как в роли поглотителя углерода, так и его источника в атмосфере за счет выбросов парниковых газов. Наиболее значимым компонентом эмиссии CO_2 из наземных экосистем является дыхание почв. Его глобальная интенсивность оценивается в пределе от 73 до 91 млрд т С/год, и продолжает увеличиваться с каждым годом на 0,1 млрд т С/год в связи с наблюдаемым потеплением климата.

Сектор сельского и лесного хозяйства и землепользования обуславливает 22% общей антропогенной эмиссии парниковых газов и 10% эмиссии CO_2 .

В работе преследуется цель оценить влияние хозяйственных факторов, а именно типа возделываемой культуры и вносимых удобрений на дыхание пахотных почв при прочих равных условиях.

Объект исследования – пахотные известкованные дерново-слабоподзолистые почвы Длительный полевой опыт Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева (ДПО), экспериментальный полигон на севере Москвы, на котором на площади в 1,5 га с 1912 года исследуются характеристики урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от типа вносимых удобрений, наличия практики известкования и севооборота, и в то же время на однородной с точки зрения почвенного покрова и рельефа территории. В работе рассмотрены следующие типы культур: картофель, ячмень, рожь и пар. Участки каждой культуры различаются по виду вносимых удобрений: комплексные (NPK), комплексные вместе с навозом (NPK+навоз) и без удобрений. На всех исследуемых участках применяется схема севооборота «черный пар – озимая рожь – картофель – ячмень – клевер – лён». Таким образом, всего анализировалось 12 делянок. Всего было проведено 15 регулярных измерений с периодичностью раз в 2 недели в вегетационный период, и раз в 3-4 недели вне его. Регулярные измерения были начаты 17 мая 2023 года, последние на данный момент, вошедшие в данную работу, датированы 21 марта 2024 года.

Эмиссию CO_2 из почвы измеряли методом статических закрытых камер с помощью портативных инфракрасных CO_2 -газоанализаторов на основе датчика AZ 77535 (AZ Instruments, Тайвань), модифицированных для полевых работ (патент RU 174321 U1). Экспозиция при разовых измерениях составляла 3 мин. В качестве измерительных камер использовали непрозрачные для фотосинтетически активной радиации поливинилхлоридные цилиндры высотой 20 см и площадью 90 см². В летний период на каждой делянке заранее устанавливали 5 таких камер, равномерно распределив их по площади (наземная растительность удалялась). Одновременно с измерением концентрации CO_2 оценивали температуру воздуха, температуру почвы на глубине 5 и 10 см (HI 98509, Hanna Instruments, США), а также объемную влажность почвы в слое 0–7 см (SM 150 Kit, Delta-T, Великобритания). В зимний период камеры устанавливались на снег, измерения проводились в 2-кратной повторности, температура почвы не оценивалась.

Годовой ход полученных результатов, сгруппированных по типу вносимых удобрений, представлены на рисунке 1. Исходя из метеоусловий и состояния поверхности почвы, выделяются три периода исследования: вегетационный период (с мая по конец сентября, пока на территории находились посевы и/или растительные остатки), период зяби (октябрь – середина ноября; перепаханные поля без снежного покрова) и зимний период (с конца ноября до конца измерений; поверхность зяби покрыта снегом).

Результаты вегетационного периода показывают значимое превышение эмиссии CO_2 на делянках, удобренных NPK и навозом (среднее – $0,265 \pm 0,25$ гС/м² ч), что очевидно объясняется разложением навоза микроорганизмами. Дыхание почв, удобряемых NPK, лишь незначительно выше почв без удобрений ($0,133 \pm 0,107$ и $0,122 \pm 0,114$ гС/м² ч соответственно). В течение вегетационного периода дыхание пахотных почв неодинаково для разных культур. Эмиссия CO_2 уменьшается в ряду Рожь>>Ячмень>Пар>Картофель.

Низкие значения эмиссии для картофеля обусловлены пониженной влажностью почв относительно остальных культур и одновременно – повышенными ее температурами. Причиной таких значений этих характеристик является применение гребневания.

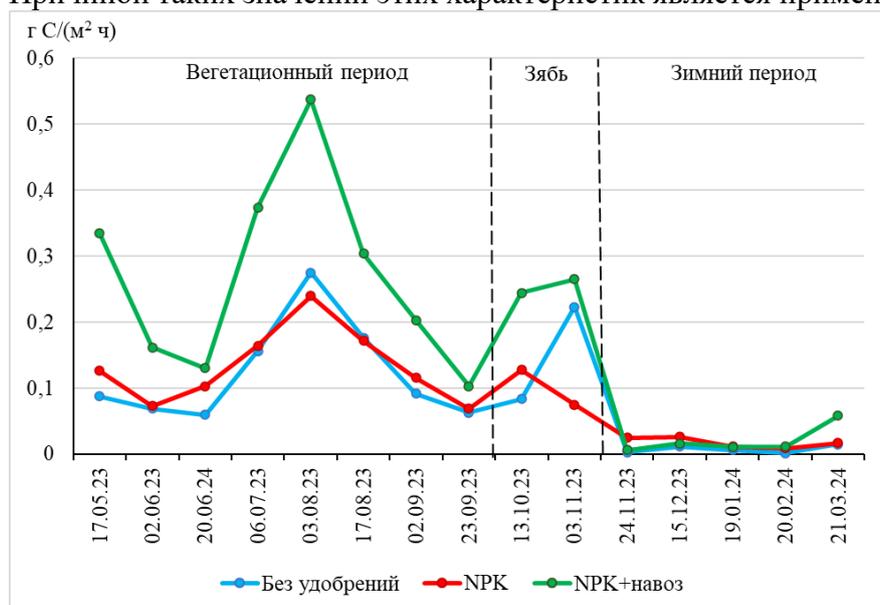


Рисунок 3. Интенсивность эмиссии CO₂ почвами ДПО в гС/(м² ч) в зависимости от даты измерений по типам удобрений.

Вне вегетационного периода различия в дыхании между культурами не оценивались. В период зяби эмиссия почв, удобряемых NPK и навозом практически не изменилась ($0,257 \pm 0,29$ гС/м² ч), почв, удобряемых NPK, уменьшилась ($0,098 \pm 0,13$ гС/м² ч), а не удобряемых – значительно увеличилась ($0,163 \pm 0,157$ гС/м² ч). Относительно вегетационного периода, значительно увеличилась влажность почв.

В зимний период наблюдалось снижение интенсивности почвенного дыхания на порядок относительно вегетационного периода. На некоторых точках эмиссия CO₂ была настолько слаба, что не фиксировалась прибором. Однако, исходя из измерений, дыхание ослабевает в ряду NPK+навоз>NPK>без удобрений ($0,023 \pm 0,06 > 0,018 \pm 0,03 > 0,008 \pm 0,009$ гС/м² ч). В марте при измерениях была зафиксирована положительная температура воздуха, в связи с чем наметился некоторый рост эмиссии CO₂, особенно в случае удобряемых NPK и навозом почв (рост относительно февральского измерения в 4,93 раза).

Работа выполнена за счет средств гранта РФФ #23-26-00191.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА В ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Скрипников П.Н., Горбов С.Н., Тагивердиев С.С., Сальник Н.В.

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, пр-т Стачки, e-mail: skripnikov@sfedu.ru

В условиях урболандшафтов Ростовской агломерации под влиянием антропогенного воздействия происходят существенные изменения почвенного покрова. В этой связи всестороннее изучение содержания и запасов различных форм углерода, как основных компонентов почв региона, позволят расширить современные представления об изменениях свойств черноземов под воздействием антропогенного прессинга. Полученная информация может стать основой для экологического мониторинга городских почв, обоснования проведения рекультивационных мероприятий, составления почвенных картосхем, а также дает возможность провести оценку запасов почвенного органического углерода (С орг.) и экосистемных сервисов по депонированию С орг. на территории Ростовской агломерации.

Цель данной работы – изучение содержания, профильного распределения и запасов в почвенной толще различных форм углерода: органического и неорганического (С неорг.) углерода в почвах различных функциональных зон городов сухостепной зоны.

В качестве объекта исследования выступал почвенный покров территории Ростовской агломерации, куда были включены города Ростов-на-Дону, Аксай и Батайск, которые в совокупности образуют ядро агломерации, так называемый «Большой Ростов» (47°14' N, 39°42' E) с населением порядка 1,38 млн человек, что соответствует 72% всего населения агломерации

В целом, почвенный покров города скомбинирован из зональных черноземов миграционно-сегрегационных и антропогенно-преобразованных почв (АПП). Их доля различна и зависит прежде всего от функциональной зоны и степени антропогенного воздействия. Площадь рекреационной зоны составляет порядка 23 657.36 га. Несмотря на воздействие нетипичной для водораздельных территорий древесной растительности почвенный покров представлен зональными черноземами миграционно-сегрегационными. Селитебная зона имеет площадь 16 290.79 га. Почвенный покров сильно трансформирован и представлен в основном АПП (урбостратоземами, реплантоземами и урбистратифицированными черноземами).

Всего было изучено 48 полнопрофильных разрезов, 50 почвенных скважин, а также 440 образцов из поверхностного десятисантиметрового слоя. Суммарно было отобрано и проанализировано 959 почвенных образцов.

Выявлено, что содержание почвенного органического углерода в верхних горизонтах АПП достоверно ниже, чем в дерновых горизонтах залежных участков и составляет $2.59 \pm 0.79\%$ и $3.25 \pm 0.94\%$ соответственно. Для неорганического углерода характерна обратная тенденция с максимумом содержания в верхних горизонтах экранированных АПП. Вниз по профилю различия в содержании органического и неорганического углерода для почв с разной степенью антропогенной нагрузки нивелируются. Такая специфика в накоплении и профильном распределении С орг. указывает на «двучленность» профиля погребенных черноземов, когда изменяется не вся почвенная толща, а лишь ее верхняя часть. Наличие древесной растительности в сухостепной зоне оказывает положительный эффект на накопление почвенного органического углерода. Черноземы под древесной растительностью обладают наибольшими запасами С орг. в 30-сантиметровом слое ($10.61 \pm 1.45 \text{ кг/м}^2$). Черноземы залежных участков под естественной степной растительностью содержат $8.94 \pm 1.75 \text{ кг/м}^2$, а АПП селитебной зоны $8.44 \pm 2.47 \text{ кг/м}^2$. Для почв селитебной зоны наблюдается ослабление зависимости содержания ТОС и ИС от глубины залегания почвенного горизонта.

«Исследование выполнено на базе Южного федерального университета за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00390, <https://rscf.ru/project/24-27-00390/>»

УДК 631.4

МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ CO₂ ЗА ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА ИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ТРАВЯНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕСОСТЕПИ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Соколова Л.Г.^{1,2}, Зорина С.Ю.^{1,2}, Дорофеев Н.В.¹

¹Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, e-mail sokolova.lada@sifibr.irk.ru;

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск

Эмиссия CO₂ из почв важная составляющая цикла углерода. Экспериментальное определение ее величин в репрезентативных экосистемах локального уровня необходимо для получения корректных оценок в региональном и глобальном масштабах.

Мониторинг эмиссии CO₂ из почв лесостепной зоны Прибайкалья выполнялся на территории агроэкологического стационара СИФИБР СО РАН (д. Тунгуй Заларинского района

Иркутской области). Для работы были отобраны площадки в агроценозах (пар, посев яровой пшеницы) и в травяных экосистемах (8-летняя залежь и злаково-разнотравный луг). Измерения проводились в теплое время года (5 мая-13 октября 2023 г., т.е. в период с устойчивым переходом среднесуточных температур воздуха через 5 °С по данным ближайшей метеостанции). Замеры выполнялись с периодичностью 2-3 раза в месяц методом закрытых динамических камер (инфракрасный газоанализатор AZ-7752; AZ Instrument, Тайвань) в 5-кратной повторности для каждой площадки. Одновременно с измерением дыхания почвы определяли влажность (гравиметрический анализ) и температуру почвы в слое 0–5 см, а также температуру воздуха (термометры Hanna Instruments, Thermochron Temperature Loggers).

Почва экспериментального участка – серая лесная среднесуглинистая (Haplic Luvisol (Aric)) относится к наиболее распространенным в регионе типам почв. Характеристика ее верхнего слоя (0-10 см) в почвах агроценозов и залежи включала следующие свойства: плотность сложения – 1,2–1,3 г/см³, содержание Сорг – 2,4–2,9%, Нобщ – 0,21–0,22%, величина рНвод – 6,7–6,8. Почва под лугом отличалась меньшей плотностью сложения (1,1 г/см³) и более высоким содержанием углерода и азота (соответственно 5,45 и 0,43%).

Минимальные величины скорости эмиссии CO₂ из почв изучаемых экосистем наблюдались в начале сезона измерений, когда температура верхнего слоя почвы составляла 4-7 °С. Средние показатели за май варьировали в пределах 0,86-1,73 г С/м² сут. и мало зависели от приема землепользования ($p > 0,05$). Сезонный максимум приходился на июль-начало августа. Средние показатели за июль изменялись от 2,69 г С/м² сут. на пару до 7,45 г С/м² сут. на почве под лугом (табл). Затем наблюдался спад процессов дыхания и к середине октября показатели колебались в близких пределах (1,87-2,81 г С/м² сут.; $p = 0,200$). В среднем за сезон интенсивность выделения углекислого газа из почв исследуемых экосистем возрастала в ряду: пар < посев пшеницы < залежь < луг. Интересно, что посев яровой пшеницы и 8-летняя залежь с высоким видовым разнообразием (53 вида) демонстрировали близкий диапазон и летних, и средних за теплый сезон значений скорости эмиссии CO₂. Для всех экосистем с растениями отмечена заметная связь с температурой воздуха и почвы. Плотность связи в агроэкосистемах была ниже, чем в травяных экосистемах. Величина коэффициента линейной корреляции между скоростью эмиссии CO₂ и температурой почвы для залежи и луга достигала 0,95, снижаясь до 0,77 для посева пшеницы и 0,26 для пара. Взаимосвязь с влажностью почвы в условиях 2023 года во всех экосистемах была слабой ($r = 0,19 - 0,25$), что, по-видимому, связано с неравномерным увлажнением территории. Меньшее влияние основных предикторов на скорость эмиссии CO₂ из почвы под паром обусловлено, вероятно, значительными колебаниями температуры и влажности верхнего слоя почвы вследствие открытого пространства.

Суммарный поток С-CO₂ из серой лесной почвы лесостепной зоны Прибайкалья за теплый период 2023 г. в травянистых экосистемах составлял 599-803 г С/м², а в агроэкосистемах – 309-518 г С/м². Независимо от приема землепользования, вклад отдельных сезонов в формирование суммарного за теплый период потока CO₂ снижался в ряду: летние месяцы (июнь-август) > осенние месяцы (сентябрь – 1-я половина октября) > конец весны (май). Доля мая в общем потоке оказалась не только наименьшей, но и близкой во всех экосистемах кроме пара (5-7 и 9%, соответственно). Летние месяцы формировали 70-73% от общего потока С-CO₂. Величина показателя возрастала постепенно от агроценоза с однолетней полевой культурой к климаксовой экосистеме луга, но межвариантные различия оказались статистически значимы ($p < 0,05$). В парующейся почве, где отсутствовал вклад дыхания корней, летний период отвечал только за 63% углекислого газа, выделенного за теплый сезон. При этом повышалась доля других сезонов, особенно осеннего (28%, против 20-24% в экосистемах с растительной компонентой). Полученные нами данные оказались вполне сопоставимы с результатами других исследователей, работающих в регионе. Согласно оценкам Е.Н. Звягинцевой и Ю.В. Семеновой (2016), вклад летнего сезона в потоке С-CO₂ за

безморозный период варьировал в пределах 55-83%, составляя в среднем 67 и 72% в пару и посевах (данные 16-ти летнего мониторинга эмиссии CO₂ из агросерых почв южной части Прибайкалья; адсорбционный метод). Весна и осень вносили от 4 до 25% от общего потока, причем величина показателей определялась условиями конкретного сезона.

Таблица. Показатели скорости эмиссии и потоков CO₂ из серых лесных почв репрезентативных экосистем лесостепной зоны Прибайкалья в теплый период 2023 г. при разных приемах землепользования (среднее ± SE)

Параметр	Агроэкосистемы		Травяные экосистемы		НСР _{0,05}
	пар	посев	залежь	луг	
Скорость эмиссии CO ₂ , г С/м ² сут.:					
Пределы колебаний	0,29-3,12	0,48-6,50	0,72-6,31	1,06-7,25	
Средняя за июль	2,69±0,43	4,16±0,61	4,87±0,10	7,45±0,20	0,74
Средняя за теплый период	1,86±0,21	3,13±0,42	3,81±0,44	4,91±0,58	1,20
Поток CO ₂ , г С/м ² сезон:					
весна	27±2	30±1	28±3	54±4	7,1
лето	195±22	364±17	431±24	589±19	61,6
осень	88±14	123±6	140±6	160±6	26,1
теплый сезон в целом	309±23	518±21	599±25	803±18	66,8

Изменения в соотношении процентного вклада отдельных сезонов в общий поток С-CO₂ из серых лесных почв сельскохозяйственных и природных экосистем обусловлены, по-видимому, особенностями сезонной динамики их микробного и растительного компонентов. В почве под паром поток С-CO₂ формировался только за счет микробного дыхания, величина которого в условиях региона плотно зависит от наличия ресурса углерода. Дыхание почв под фитоценозами, особенно многолетними, больше подчинялось их активности, что и отражалось на формировании сезонных потоков углекислого газа из почв. Для разделения вклада микробной и растительной составляющей в формирование потока углекислого газа из почв начаты исследования по экспериментальному определению микробного дыхания методом исключения корней. В качестве пробной площадки выбрана 8-летняя залежь. Согласно полученным данным вклад дыхания корней и ризосферой микрофлоры в этой экосистеме в условиях 2023 года составлял 41% от потока за теплый сезон.

"Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6)".

УДК 631.4

ПОЛИГОН ЧАШНИКОВО КАК ОБЪЕКТ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПУЛОВ УГЛЕРОДА

Сорокин А.С., Телеснина В.М., Подвезенная М.А., Мешалкина Ю.Л., Манаква О.И., Самсонова В.П., Кондрашкина М.И., Дядькина С.Е., Чекин М.Р., Ильичев И.А., Филиппова О.И.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, leshasorokin@gmail.com

Оценка запасов органического углерода в разных блоках биогеоценоза необходима для решения задач, направленных на устойчивое развитие в масштабах биосферы. Наземные методы (мониторинговые площадки) нужны для обучения и валидации данных

дистанционного зондирования, а также для разработки моделей зависимости запасов углерода от различных абиогенных факторов.

В Учебно-опытном почвенно-экологическом центре (УО ПЭЦ МГУ «Чашниково») уже более 70 лет ведутся исследования почвенного и растительного покрова естественных и агроценозов подзоны хвойно-широколиственных лесов. Здесь был организован тестовый участок, состоящий из 5 пробных площадей (ПП) в массиве березово-елового леса площадью более 50 га с типичными среднедерново-глубокоподзолистыми языковатыми среднесуглинистыми почвами на покровных суглинках, подстилаемых мореной. УОПЭЦ МГУ «Чашниково» расположен в области умеренно-континентального климата. Средняя многолетняя температура воздуха составляет $+3,7^{\circ}\text{C}$, средняя температура января $-10,5^{\circ}\text{C}$, июля $+17^{\circ}\text{C}$, безморозный период длится 120–130 дней. Среднегодовое количество осадков около 600 мм. Максимальная высота зафиксирована в юго-западной части лесного массива, и достигает 228–230 м над уровнем моря. Тип увлажнения на ПП – смешанный (атмосферный, грунтовый).

Отбор образцов почв и растений проводили в конце вегетационного периода по методикам, утвержденным в проекте Важнейший инновационный проект государственного значения (ВИП ГЗ). На всех пяти ПП были проведены геоботанические, почвенные, почвенно-зоологические и микробиологические исследования, а также оценка биомассы живого напочвенного покрова и измерения эмиссии CO_2 с поверхности почвы. Были рассчитаны статистические показатели в пакете Statistics и программной среде R.

Экосистемы представляли собой леса возраста 70–90 лет, в древостое, которых преобладали ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и береза повислая (*Betula pubescens* Ehrh.). Общая сомкнутость крон составляет в среднем 48%, а общее проективное покрытие – 45%. В живом напочвенном покрове преобладали такие виды как кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), осока волосистая (*Carex pilosa* Scop.), зеленчук желтый (*Galeobdolon luteum* Huds.).

Проведенные таксационные описания леса УО ПЭЦ МГУ «Чашниково» позволили рассчитать запасы органического углерода в ярусах древесной растительности, подроста и подлеска, а также углерод, аккумулированный в мортмассе. Средние запасы органического углерода для ярусов древостоя, подроста и подлеска в общем составляют 113,186 т/га, коэффициент вариации – 21%. Древесный ярус вносит основной вклад в общие запасы углерода (95,3–99,6%), доля подлеска 0,3–4,7%. Основную роль в структуре древостоя играет фракция стволов, которая составляет 65,5–70,2% общего запаса углерода, доля ветвей – 10,9–11,7%, корней – 16,3–18,8%. Наименьший вклад в запасы вносят ассимилирующие органы 1,8–4,6%. Запасы углерода мортмассы не очень велики для подобного типа леса и составляют в среднем 11,792 т/га, варьируя от 6,703 до 18,855. Данная фракция представлена в основном сухостоем древостоя (50,4–81,2%), существенный вклад вносит валеж: 17,5–48,6%.

Незначительную роль играют сухой подрост и подрост, пни и хворост.

Среднее значение запасов углерода наземной биомассы оказалось равным 0,197 т/га при колебаниях от 0,032 до 0,609 (коэффициент вариации – 69%). Диапазон варьирования запасов углерода для доминирующих травяных растений может отличаться в 100–130 раз (ожика волосистая и живучка ползучая), в десятки раз (зеленчук желтый и сныть обыкновенная) или всего в 3–4 раза (кислица обыкновенная и копытень европейский).

Среднее значение запасов углерода подземной биомассы травяного яруса составляли 1,083 т/га при колебаниях от 0,55,3 до 1,587 (коэффициент вариации заметно ниже – 18%). Связи между величинами наземной и подземной биомасс не обнаружено.

Все лесные подстилки, отобранные на изучаемых площадках, относятся к деструктивному типу. Среднее значение запасов углерода в подстилках оказалось равным 1,967 т/га при колебаниях от 0,662 до 5,059 (коэффициент вариации – 57%).

Расчет запасов углерода в почвах производился на основе данных по содержанию углерода, плотности почв с учетом каменистости. Плотность почвы закономерно возрастает с глубиной от 0,87 до 1,55 г/см³ и с глубины 50 см практически не меняется. Доля мелкозема

колеблется в пределах 93,0– 99,9%. Распределение запасов углерода в метровой толще почвы имеет аккумулятивный характер, они уменьшаются от 20,8 т/га в слое 0– 10 см и 18,35 т/га в слое 10–20 см до не более 5,0 т/га для слоёв с шагом 10 см с глубины 30 см. Суммарный запас органического углерода в слое 0– 30 см составляет 46,9 т/га, в метровой толще – 78,0 т/га.

Общая численность дождевых червей составила $56,5 \pm 45,9$ экз./м², общая биомасса $50,1 \pm 38,7$ г/м². Запасы Смик в подстилках составляют от 1,32 до 4,57 мг/г при естественной влажности, а qCO_2 составляет – 2,35 до 13,06 мкг С-СО₂·мг⁻¹ Смик·ч⁻¹. qCO_2 для большинства почвенных образцов составляет 0,6–3,5 мкг С-СО₂·мг⁻¹ Смик·ч⁻¹, в среднем – 2,6. Для профильного распределения характерно возрастание вниз по профилю, часто с локальным минимумом в горизонте АЕ. В горизонтах В показатель достигает высоких значений 10–13 мкг С-СО₂·мг⁻¹ Смик·ч⁻¹, а микробные сообщества почти не откликаются на внесение дополнительного источника легкодоступного углерода, демонстрируя отсутствие пула покоящихся форм микроорганизмов и высокие удельные затраты энергии на поддержание существующей биомассы.

Установлено, что в течение периода наблюдения, используя портативный газоанализатор LICA United Technology Limited (модель PS-9000), эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы варьировала в широких пределах (от 12 до 416 мг С*м⁻²*час⁻¹) и составляла в среднем 158 ± 91 мг С*м⁻²*час⁻¹ ($n=168$). Этот показатель характеризуется высокой пространственной вариабельностью: коэффициент вариации составил 57%. Наибольшие значения эмиссии наблюдались в августе, а наименьшие – в марте. Наблюдается возрастание разброса значений с марта по август. Установлено, что эмиссия С-СО₂ с поверхности почвы имеет статистически значимую связь с температурой почвы ($r=0.85$, $p<0.05$, $n=168$) и объемной влажностью почвы ($r=-0.50$, $p<0.05$, $n=168$).

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.433.3

СРАВНЕНИЕ ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ В АГРАРНЫХ И ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Суховеева О.Э., Карелин Д.В., Золотухин А.Н., Почикалов А.В.
Институт географии РАН, Москва, olgasukhoveeva@gmail.com

Сектора землепользования, сельского и лесного хозяйства являются одним из основных источников углерода для атмосферы. С другой стороны, эти отрасли обладают потенциалом смягчения климатических изменений путем секвестрации углерода в почве и поглощения его растущей фитомассой культур. Земли сельскохозяйственного назначения занимают 13% территории России и представлены преимущественно пашнями, пастбищами и сенокосами. Цель исследования состояла в количественной оценке эмиссии СО₂ из почвы аграрных и природных экосистем и анализе ее зависимости от факторов внешней среды с учетом географической изменчивости. В задачи исследования входили измерение дыхания почвы в растениеводческих, животноводческих и природных ценозах и сравнение их между собой, а также корреляционно-регрессионный анализ их зависимости от гидротермических и агрохимических факторов.

Полевые исследования проводились в вегетационные сезоны 2020–2023 гг. в Чувашской Республике, Рязанской области и Курской области. В этих регионах были выбраны действующие крупные комплексные хозяйства, занимающиеся растениеводством и

животноводством. В каждом хозяйстве или в их ближайших окрестностях были выделены семь групп аграрных и природных экосистем (объектов): пашни, пастбища, сенокосы, загоны для животных, открытые компостные хранилища, луга, леса.

Эмиссия CO_2 из почвы измерялась методом статических закрытых камер с помощью портативных инфракрасных CO_2 -газоанализаторов на основе датчика AZ 77535 (AZ Instruments, Тайвань). Объем выборок, состоящих из усредненных за каждый год для отдельных экосистем значений эмиссии, составил: 60 значений для пашен, 39 для сенокосов, 34 для лесов, 28 для пастбищ, 25 для лугов, 14 для загонов и 12 для компостных хранилищ. Одновременно с измерением концентрации CO_2 оценивались температура воздуха, температура почвы на глубине 5 и 10 см (HI 98509, Hanna instruments, США), а также объемная влажность почвы в слое 0 – 7 см (SM 150 Kit, Delta-T, Великобритания). В каждой экосистеме ежегодно из слоя 0–20 см методом конверта отбирали смешанные пробы почвы, в которых определяли содержание общего углерода и общего азота с помощью элементного CHNS-анализатора Vario Isotop Select (Elementar, Германия), а также измеряли $\text{pH}_{\text{водн}}$ (HI 98121, Hanna instruments, США).

Проведенное попарное сравнение с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни позволило построить следующее неравенство, отражающее соотношение скоростей дыхания почвы в аграрных и природных экосистемах, где они ранжированы по возрастанию средних уровней эмиссии:

пашни < пастбища \leq сенокосы < леса \leq луга \ll загоны \ll компостные хранилища
где знак < обозначает строгое неравенство скоростей дыхания между группами экосистем; знак \leq означает, что уровни дыхания часто бывают равны; знак \ll обозначает значительное превышение дыхания почвы в одной группе экосистем по сравнению с другими.

Таким образом, среди рассматриваемого набора экосистем, дыхание почвы было минимальным на пахотных землях ($0,130\text{--}0,156 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$), что связано с постоянным отчуждением большей части фитомассы и обеднением вследствие этого пула почвенного органического углерода (рисунок). Наиболее значимыми источниками CO_2 для атмосферы среди рассмотренных экосистем являлись объекты животноводства – загоны ($0,577\text{--}2,373 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$) и компостные хранилища ($2,898\text{--}7,962 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$).

Интересно отметить, что выделяются две пары биогеоценозов со сходными уровнями эмиссии CO_2 из почвы: травяные аграрные сообщества – пастбища ($0,150\text{--}0,231 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$) и сенокосы ($0,154\text{--}0,296 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$), и природные экосистемы – леса ($0,147\text{--}0,276 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$) и луга ($0,183\text{--}0,264 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$). Дыхание почв на лугах часто оказывается выше, чем в близлежащих лесах, что связано с ежегодным приростом травянистой растительности не только в надземном, но и в активно дышащем корневом ярусе, что также способствует поступлению в почву большого количества органического вещества с отмирающей фитомассой. С активно нарастающей фитомассой трав связано, в свою очередь, и более высокое дыхание почв на сенокосах по сравнению с пастбищами, где баланс между надземной и подземной частями постоянно нарушается вследствие потребления животными. Как показал корреляционный анализ, во всех регионах важнейшим фактором формирования потока CO_2 из почвы является ее температура на глубине 10 см ($r = 0.402\text{--}0.809$, $p < 0.001$). Для Курской области, где увлажнение неустойчивое, значимой также является влажность почвы ($r = 0.203$, $p = 0.044$), а в Чувашии, где серые лесные почвы относительно бедны, сильные корреляции отмечаются и для дыхания почвы с содержанием общего углерода и азота ($r = 0.915\text{--}0.917$, $p < 0.001$). Связи эмиссии CO_2 с температурой воздуха, влажностью почвы и ее pH обнаружены не были.

Для пашен, лугов и лесов дыхание почвы преимущественно определялось температурным фактором ($r = 0.428\text{--}0.745$, $p < 0.05$), для сенокосов и компостных хранилищ он также был значим ($r = 0.420\text{--}0.825$, $p < 0.05$). Но одновременно на пастбищах и сенокосах важную роль играла влажность почвы ($r = 0.393\text{--}0.457$, $p < 0.05$), тогда как для компостных хранилищ связь с этим фактором была отрицательной ($r = -0.646$, $p = 0.044$). Для загонов значимых

корреляций не было выявлено. Также при разделении по типам экосистем не было выявлено зависимости дыхания почвы от содержания углерода и азота в почве и ее рН. Выделенные внешние факторы объясняли от 9% (в Курской области) до 57% (в Чувашии) дисперсии дыхания почвы при осреднении по регионам; и от 16% (на пашнях) до 67% (в компостных хранилищах) дисперсии эмиссии CO₂ из почвы при разделении по типам экосистем. Практически во всех уравнениях регрессии независимой переменной выступает температура почвы на глубине 10 см; дополнительно для пастбищ, сенокосов и экосистем Курской области в качестве переменной фигурирует влажность почвы. Полученные закономерности формирования эмиссии CO₂ из почвы аграрных и природных экосистем позволяют не только оценить поток углерода из агроландшафтов в атмосферу с учетом пространственной представленности биогеоценозов, но также прогнозировать и регулировать его с учетом изменения землепользования и потепления климата. Исследование выполнено за счет средств гранта РФФИ № 23-26-00191.

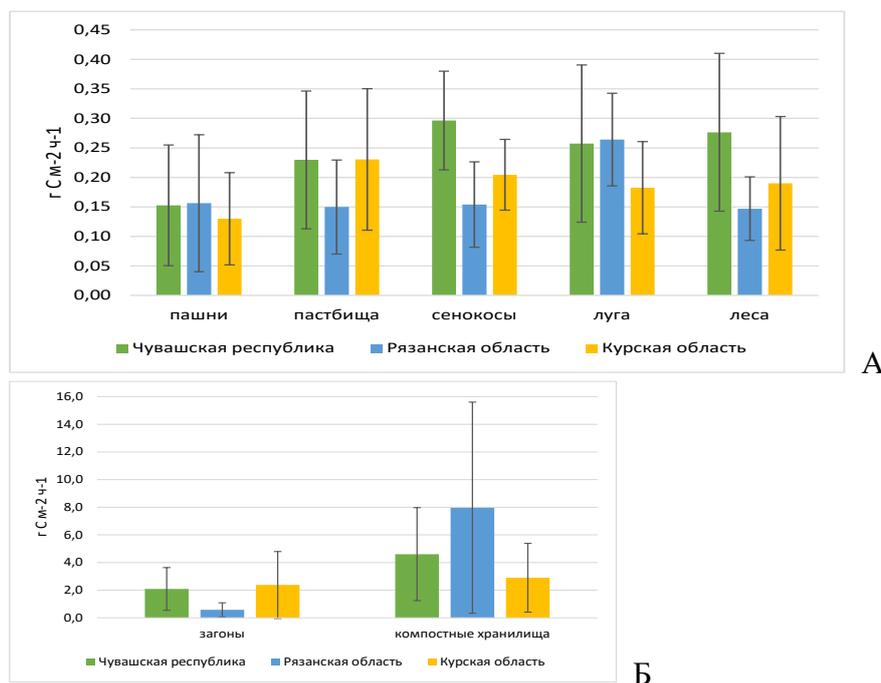


Рисунок. Средние скорости дыхания почвы в трех регионах за 2020-2023 гг. (А – растительные сообщества, Б – объекты животноводства)

УДК 631.41

ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА МГУ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА "ЧАШНИКОВО"
Сушенцова М.В.

г.Москва, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
marinaru2001@mail.ru

Исследования в области изменения климата охватывают широкий спектр проблем, связанных с причинами, последствиями и мерами противодействия глобальному потеплению. Результаты этих исследований важны для принятия решений на национальном и международном уровне, а также для разработки мер по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним.

Основными факторами, влияющими на глобальное потепление, являются выбросы парниковых газов, таких как CO₂, NH₄, N₂O, а также водяной пар. Эти газы накапливаются

в атмосфере и создают так называемый «парниковый эффект», который приводит к повышению средней температуры воздуха на Земле [6].

Целью работы является оценка интенсивности деструкции органических соединений в почвах ландшафтов УОПЭЦ «Чашниково», на базе которого был организован Карбоновый полигон МГУ.

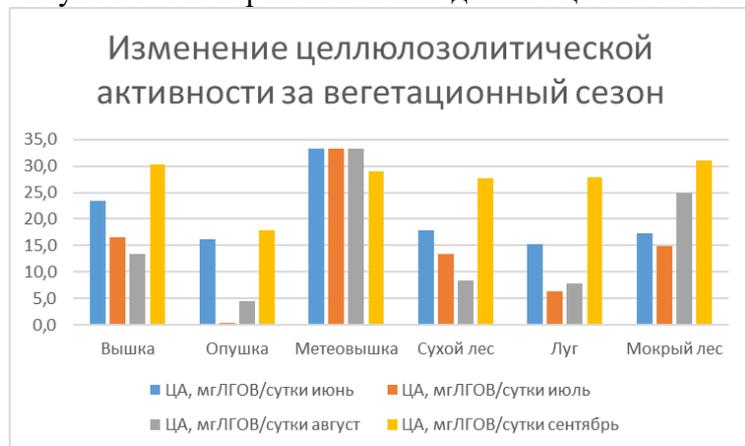
Полигон «Чашниково» расположен на Северо-западе Московской области, в Солнечногорском районе. Зональным типом почв являются дерново-подзолистые, на переувлажненных участках встречаются болотно-подзолистые и торфяные почвы. Растительность представлена лесными и травянистыми сообществами. Хвойные леса представлены ельниками зеленчуково-кисличными, недотрогово-зеленчуковыми, в смешанных лесах в древесном ярусе доминируют ель, берёза, клён, дуб, липа, в травянистом – сныть, звездчатка, зеленчук.

На полигоне встречаются заболоченные осиново-березовые и черноольховые леса. Травянистые сообщества представлены суходольными лугами клеверо-овсяницевыми и верониково-мятликовыми, пойменными лугами канареечниково-таволговыми и верониково-пырейно-лисохвостовыми.

Ключевые участки закладывались на ландшафтах, представленных зональной растительностью, развивающейся на зональных подтипах почв, примерно на одном гипсометрическом уровне.

Для оценки способности почв к трансформации растительных остатков и органических веществ были выбраны показатели целлюлозолитической активности и биологическому потреблению кислорода (БПК). В комплексе с этими показателями оценивается эмиссия CO₂ эксперс-методом при использовании газоанализатора PS-9000 & SC-12. Эмиссия CO₂ -интегральный показатель, обладающий широким диапазоном пространственно-временной вариабельности, т.е. зависит от факторов среды.

Рисунок 1. Экспериментальные данные целлюлозолитическая активность (ЦА)



На ключевых участках карбонового полигона «Чашниково» эмиссия CO₂ варьирует от 1,2 до 12,3 мкмоль/м²*с. Высокие значения эмиссии CO₂ зарегистрированы на участке «Мокрый лес», что может быть обусловлено процессом дыхания сфагнома и условиями повышенного увлажнения.

Отмечается, что с ростом температуры и влажности эмиссия CO₂ возрастает, измерения. Достоверных различий влияния подстилки на эмиссию CO₂ не выявлено.

Целлюлозолитическая активность на участках, расположенных на луговых сообщества «Метестанция» и «Луг», выше (>50% потери биомассы), чем на участках под лесными сообществами (25-40% потери биомассы).

Работа выполнена в рамках программы создания и функционирования карбонового полигона «Чашниково».

Выводы:

На ключевых участках карбонового полигона «Чашниково» эмиссия CO₂ варьирует от 1,2 до 12,3 мкмоль/м²*с. Высокие значения эмиссии CO₂ зарегистрированы на участке «Мокрый лес», что может быть обусловлено процессом дыхания сфагнома и условиями повышенного увлажнения.

Эмиссия CO₂ - интегральный показатель, обладающий широким диапазоном пространственно-временной вариабельности, т.е. зависит от факторов среды. Отмечается, что с ростом температуры и влажности интенсивность эмиссии CO₂ возрастает, т.к. на площадках «Мокрый лес» и «Опушка» этот показатель максимален. Достоверных различий влияния лесной подстилки на интенсивность эмиссии CO₂ не выявлено.

Целлюлозолитическая активность на участках, расположенных на луговых сообщества «Метестанция» и «Луг», выше (>50% потери биомассы), чем на участках под лесными сообществами (25-40% потери биомассы).

На данном этапе исследования, можно сделать вывод о том, что максимальная интенсивность деструкции органических соединений почвы наблюдалась на луговых ключевых участках, а именно «Метеостанция» и «Луг». Такая интенсивность может быть вызвана поступлением дополнительной питательной органики для почвенной биоты в виде тест-объектов.

УДК 631.92

СОСТОЯНИЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ПРИБРЕЖНЫХ И ОСТРОВНЫХ
ЛАНДШАФТОВ ДЕЛЬТЫ ДОНА В ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО МАЛОВОДЬЯ

Сушко К.С., Ильина Л.П.

Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: kirkka@yandex.ru

Дельта Дона является уникальной природной территорией, особое эколого-географическое положение которой обуславливают специфические гидрологические условия формирования дельтовых ландшафтов, включая почвы как один из основных компонентов. Значительное влияние на почвообразование данной территории оказывают поемный и аллювиальный процессы, которые тесно связаны с характером речного стока, а также его антропогенными трансформациями. В период комплексных экспедиций, проводимых Южным научным центром РАН в 2021-2023 гг. в различных частях прибрежной и островной частей дельты Дона выполнялись работы по эколого-географическое профилированию с целью выяснения особенностей формирования аллювиальных почв и определения характеристик их состояния в условиях дефицита речного стока. Исследования выполнялись с помощью сравнительно-географического, стационарного и химико-аналитического методов. Профили закладывались в направлении геохимического стока от водораздельной части вниз по склону. Всего заложено 7 эколого-географических профилей. Для детализации данных, полученных на ландшафтно-географических профилях, проводили стационарные исследования на ключевых участках с типичными почвами и определённым сочетанием почвообразующих факторов. Ключевые участки были заложены в районе полевого стационара ЮНЦ РАН «Дельта Дона» на о. Свиной, также на о. Донской, и на берегу ерика Узьяк (рисунок 1). На каждом из ключевых мониторинговых участков закладывались почвенные разрезы, выполнялось полевое описание почвы и осуществлялся отбор проб. Полевое морфологическое описание аллювиальных почв выполнялось по общепринятым методикам. Номенклатура исследованных почв приведена в соответствии с классификацией почв России (1977 и 2004 г.г.).

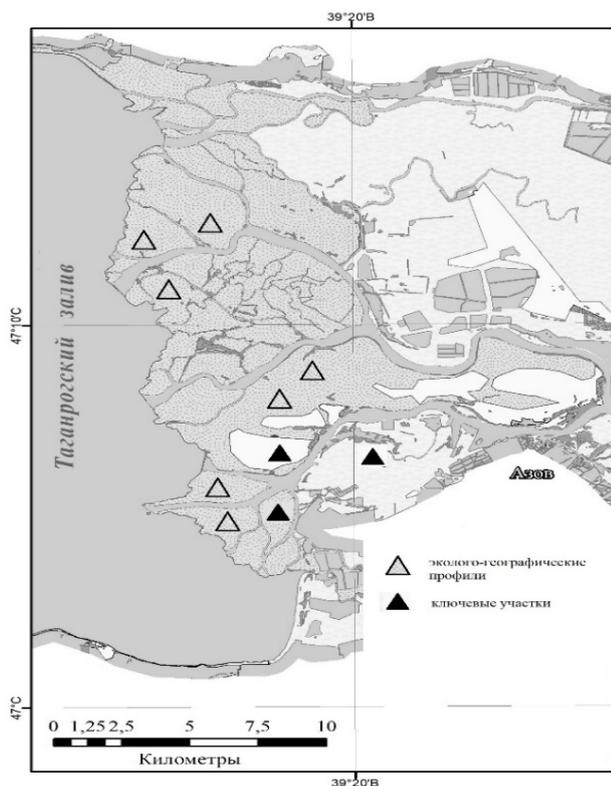


Рисунок 1 – Карта расположения ключевых участков и эколого-географических профилей в дельте Дона

Дельта Дона характеризуется наличием большого количества водотоков, островов с прирусловыми повышениями, равнинными участками, старичными руслами, ериками и блюдцеобразными понижениями. В рельефе островной части выделяются три геоморфологические зоны: прирусовая, переходная от прирусловой к центральной и центральная, осложненная мозаичным микрорельефом. Уровень грунтовых вод характеризуется неоднородным пространственным распределением, что связано с комплексностью структуры аллювиальных отложений, различными геоморфологическими условиями и дренированностью территории. Так, на низинных территориях в центральной и восточной частях дельты реки Дон широко распространены лугового-аллювиальные, аллювиальные и болотные типы почв. Непосредственно в самой приморской части преобладают примитивные песчаные типы почв. В прирусловых рукавах формируются аллювиальных почв легкосуглинистого гранулометрического состава, в которых отмечено накопление иловато-алевритовых отложений в верхних почвенных горизонтах, связанное с изменением гидрологического режима рукавов и протоков дельты Дона.

На прирусловых повышениях высотой порядка 1,75-2 м над уровнем водотоков на крупных островах дельты Дона, таких как Свиной и Донской преобладающими являются аллювиально-луговые слоистые карбонатные почвы. Для них характерен тёмно-серый, гумусовый горизонт комковато-зернистой структурой, мощность которого составляет 6-16 см. Вниз по профилю выделяется переходный горизонт, мощностью 14-20 см, светло-серого цвета, с мелкими ржавыми, охристыми или бурыми пятнами, мелкокомковатой структурой. С глубиной он постепенно сменяется легкосуглинистым почвообразующим аллювием светло-бурой окраски, мощностью 5-9 см. Далее идёт резкий переход к буровато-жёлтой супесчаной или слоистой супесчано-песчаной аллювиальной толще.

Гумусовый горизонт аллювиальных луговых карбонатных почв имеет тяжелосуглинистый или среднесуглинистый гранулометрический состав, содержит 2,5-3,8% гумуса.

Новообразования легкорастворимых солей морфологически выражены в виде тонких

прожилок и стяжений. Степень засоления почв возрастает до 0,35-0,47% с удалением участка от русла водотока, ослаблением его дренированности и наличием микропонижений.

Аллювиальные слоистые почвы формируются на прирусловых валах высотой порядка 0,8-1,0 м над уровнем воды в межень и подвергаются значительному сезонному затоплению, а также периодическому затоплению водами при нагонных явлениях. Верхний гумусовый горизонт А мощностью от 6 до 12 см густо пронизан корнями растений, средне- и тяжёлосуглинистый, серого цвета, мелкокомковатой структуры. Вниз по профилю отмечается неоднородно окрашенная тонкослоистая глинисто и тяжёлосуглинистая толща небольшой мощности (4-8 см) с чередованием тёмных буро-серых гумусовых почвенных агрегатов и более светлых структур, переходных к почвообразующей породе горизонтов с редкими охристо-ржавыми пятнами, интенсивно вскипает от 10% соляной кислоты. На небольшой глубине (23-26 см) от поверхности в профиле выделяется погребённый гумусовый горизонт с сизыми пятнами оглеения, комковатой структурой и включениями раковин пресноводных моллюсков.

Подстилающие породы до уровня грунтовых вод представлены слоистым песчаным речным аллювием с прослойками лёгких суглинков. Засоление в почвах отсутствует.

В современных условиях маловодья на нижнем Дону в прибрежных и островных ландшафтах отмечается комплексность почвенного покрова, обусловленная сложностью геоморфологического строения территории, динамикой водного режима, изменением растительных сообществ. На изученных ключевых участках в дельте Дона выявлено накопление илисто-алевритовых отложений в верхних почвенных горизонтах, сопряженное с уменьшением уровня воды, а также периодическим затоплением водами Таганрогского залива во время нагонных явлений.

Публикация подготовлена в рамках темы НИР ГЗ ЮНЦ РАН «Изучение гидроклиматических особенностей периодически пересыхающих акваторий юга России в контексте глобального углеродного цикла», № госрегистрации 122103100027-3

УДК 631:417.1:631.417.4:57.045

ПРЯМОЕ ДЕЙСТВИЕ И ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕ

Тулина А.С.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, e-mail: atulina@yandex.ru

Крупнейшим глобальным источником диоксида углерода (CO₂) является дыхание почв, значительную долю в котором занимает гетеротрофное дыхание – результат минерализации почвенного органического вещества (ПОВ) и растительных остатков (РО), присутствующих в почве. Минерализация зависит от температуры, влажности и доступности микробному сообществу углеродного субстрата. Действие этих факторов взаимосвязано и может изменяться со временем. При наличии условий, способствующих ускорению минерализации, уменьшается пул доступного субстрата, что в последующем может приводить к стабилизации органического вещества в почве и уменьшению эмиссии CO₂ из почвы в атмосферу. При поступлении в почву РО в ней значительно увеличивается содержание доступного субстрата и резко усиливается эмиссия CO₂, интенсивность которой зависит от количества и качества РО. Существующие исследования, в основном, уделяют внимание прямому действию этих факторов, а их отдаленное по времени действие (последействие) остается недостаточно изученным. Целью работы было изучить прямое действие и последействие температуры, влажности и внесения РО разного качества на минерализацию органического вещества в трех пахотных почвах по данным основного и двух повторных 150-суточных инкубационных экспериментов.

Проведена основная инкубация образцов (слой 0-20см) серой лесной почвы ($C_{орг}=0.9\%$), чернозема оподзоленного ($C_{орг}=2.5\%$) и темно-каштановой почвы ($C_{орг}=1.1$) при разной температуре (8, 18 и 28°C) и влажности (10, 25 и 40 вес. %) без растительных остатков, с высушенной зеленой массой редьки (ВЗМР) и пшеничной соломой (150 суток прямого действия изучаемых факторов). Доза РО была рассчитана таким образом, что с редькой и соломой в почву поступило одинаковое количество общего азота (86 мг/кг), и разное количество углерода (950 и 4050 мг/кг, соответственно). Затем, для изучения последствий этих факторов, проведена повторная инкубация ранее инкубированных почвенных образцов: реинкубация 1 (0-150 суток после прекращения прямого действия факторов), промежуточная инкубация продолжительностью 180 суток и реинкубация 2 (331-480 суток после прекращения прямого действия факторов) при одинаковых условиях: температуре 22°C и 25%-м увлажнении, без внесения РО. Минерализацию оценивали по кумулятивному продуцированию С-СО₂ в ходе основной инкубации, реинкубации 1 и 2. Минерализацию в течение промежуточной инкубации устанавливали экстраполированием. Концентрацию СО₂ на протяжении основной инкубации и реинкубации 1 и 2 регулярно определяли на газовом хроматографе. По окончании основной инкубации в изучаемых образцах определено содержание солерастворимого углерода ($C_{сол}$, 0.5н К₂SO₄) бихроматным методом, содержание обменного аммония и нитратов ($N_{мин}=N-NH_4+N-NO_3$) в этой же вытяжке фенол-гипохлоритным методом. Потенциально-минерализуемый углерод определен биокинетическим методом по результатам основной инкубации ($C_{пм}$), реинкубации 1 ($C_{пм1}$) и 2 ($C_{пм2}$), оценены легко и трудно минерализуемые фракции и константы их скоростей. После основной инкубации (0-150 суток) и окончания эксперимента (630 суток инкубации) определено содержание $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в почвенных образцах на CHNS-анализаторе. В ходе основной инкубации скорость минерализации возрастала при внесении соломы (прямое действие) в среднем по вариантам опыта в 4.5 раза, при внесении ВЗМР – в 2.5 раза, при повышении температуры – в 2.4 раза, при увеличении влажности – в 1.6 раза (рисунок). Наименее значимым фактором было содержание собственно ПОВ: в черноземе минерализация была лишь в 1.3 раза интенсивнее, чем в серой лесной почве, хотя ПОВ в черноземе было почти втрое больше. Минерализация в почве с ВЗМР меньше зависела от температуры, чем в почве с соломой и в почве без РО, что объясняется преимущественным использованием микроорганизмами наиболее доступного и наименее термочувствительного субстрата, каковым является высушенная зеленая масса редьки. В условиях основной инкубации в среднем для трех почв ПОВ минерализовалось на 2-7% от исходного количества, солома – на 18-81%, а ВЗМР – на 49-107% от внесенного, т.е. ее внесение могло провоцировать дополнительную минерализацию ПОВ. С ВЗМР в почву поступало вчетверо меньше общего органического углерода, чем с соломой, но, при этом, втрое больше растворимого, наиболее доступного микроорганизмам углерода и в пятьдесят раз больше минерального азота, при этом минерализация ВЗМР протекала в 3-8 раз быстрее, на что указывают константы скорости минерализации пула $C_{пм}$ изученных растительных остатков. Увеличение увлажнения в течение основной инкубации приводило к убыли $C_{сол}$ к ее окончанию, увеличение температуры стимулировало накопление $N_{мин}$ в почве, а внесение соломы – иммобилизацию $N_{мин}$. Усиление минерализации при повышении температуры и влажности закономерно привело к убыли $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в почвах к ее окончанию. При внесении соломы в почвах через 150 суток оставалось больше $C_{орг}$ и $N_{общ}$, чем содержалось в исходных почвах, а внесение редьки позволило сохранить их содержание на уровне исходных показателей.

Выявлено значительное последствие условий основной инкубации на минерализацию в ходе повторной инкубации, проводимой при одинаковых условиях, связанное с изменением доступности микроорганизмам субстрата в почвах. Если прямое действие повышения температуры и влажности заключалось в ускорении минерализации, то последствие – напротив, в ее замедлении и уменьшении пула $C_{пм1}$ в среднем в 1.6 и 1.3 раза,

соответственно. Эти данные подтверждают предположение о том, что усиление минерализации на начальных этапах потепления климата может способствовать стабилизации ПОВ в последующем. Внесение редьки в последствии также уменьшало $C_{\text{ПМ1}}$ в 1.2 раза, что могло быть связано с очень быстрой ее минерализацией в течение основной инкубации, провоцирующей дополнительную минерализацию ПОВ, и значительным накоплением $N_{\text{мин}}$ в почве. В вариантах с соломой $C_{\text{ПМ1}}$ был в 1.8 раз больше, чем в почвах без РО. Содержание ПОВ и в последствии оставалось наименее значительным фактором из изученных. Пул $C_{\text{ПМ2}}$ был втрое меньше, чем $C_{\text{ПМ1}}$, и в 1.6 раза «медленнее» за счет уменьшения в нем доли легко минерализуемой фракции. Продолжительная инкубация способствовала стабилизации ПОВ, что проявилось в снижении его средней минерализуемости с 5.5 до 1.6% от $C_{\text{орг}}$, и сглаживанию различий, вызванных прямым действием температуры, влажности и внесения растительных остатков. Солома, в отличие от редьки, компенсировала потери $C_{\text{орг}}$ и $N_{\text{общ}}$ от минерализации за 630 суток эксперимента, но продолжала минерализоваться.

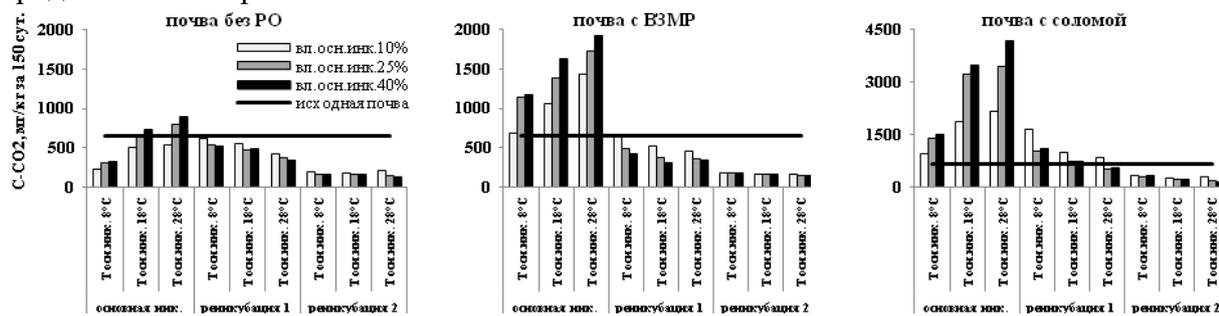


Рисунок. Минерализация органического вещества, оцениваемая по выделению C-CO₂ из почвы, за 150 суток основной инкубации, проведенной при 8, 18 и 28°C и влажности 10, 25 и 40 вес.%, а также реинкубации 1 и 2, проведенных при 22°C и влажности 25 вес.%. Для сравнения показана минерализация исходной почвы без растений за 150 суток при 22°C и влажности 25 вес.%. Приведены средние значения для трех изученных почв.

Работа проведена в рамках исполнения госзадания рег. № 122040500037-6.

Содержание $C_{\text{орг}}$ и $N_{\text{общ}}$ в почвах было определено на оборудовании Центра Коллективного Пользования ИФХиБПП ФИЦ ПНЦБИ РАН.

УДК 631.417.1

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ МИНЕРАЛИЗАЦИЮ УГЛЕРОДА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ И СОВРЕМЕННЫХ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Удальцов С.Н., Кузнецова Т.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пушкино, e-mail: udaltsov@issp.serpukhov.su

Влажность почвы – один из ключевых климатических факторов, контролирующих процессы минерализации органического вещества в почве, значимо влияющий не только на изменения в биогеохимическом цикле углерода, но и на его глобальный круговорот. Почва является крупнейшим резервуаром органического углерода, и даже относительно небольшое ускорение минерализации органического углерода в почве может привести к увеличению уровня CO₂ в атмосфере. Минерализация органического вещества почвы представляет собой в основном разложение преимущественно лабильных соединений углерода (активного органического вещества), период полуразложения которых составляет от нескольких суток до двух-трех лет. В литературе имеется большое количество работ по влиянию разного уровня увлажнения на минерализацию органического углерода в почве, но, тем не менее, для

почв многих регионов России подобных исследований пока еще явно недостаточно. А сравнительные исследования современных почв и погребенных палеопочв – уникальных объектов, скрытых под историческими и археологическими памятниками, – дают возможность получить новую информацию о состоянии органического вещества в палеопочвах, которые испытывали в прошлом воздействие как аридных, так и гумидных климатических условий.

Целью данной работы было оценить влияние длительного воздействия разного уровня увлажнения на потенциальную минерализацию органического углерода погребенных и современных почв сухих степей Нижнего Поволжья (на примере каштановых почв Иловлинского и Ольховского районов Волгоградской области).

Объектами исследования послужили каштановые палеопочвы, погребенные под валом Анны Иоановны (~ 300 лет назад) и под курганами могильника «Зензеватка» (V в. до н.э. и I в. н.э.), и их современные аналоги – каштановые почвы целинных участков объектов «Вал» и «Зензеватка». Образцы почв отобраны из гор. А1. Исследования проводили с использованием биокинетического метода в длительном (154 сут) инкубационном эксперименте при температуре 22°C и двух уровнях увлажнения: 16 вес. % (~40% полной влагоемкости, W1) и 24 вес. % (~60% полной влагоемкости, W2). Концентрацию CO₂, продуцируемого почвами, регулярно измеряли на газовом хроматографе «Кристаллюкс 4000». Кумулятивные величины продуцирования C-CO₂ почвами за период инкубации аппроксимировали уравнениями экспоненциальной регрессии и рассчитывали размеры углерода потенциально-минерализуемого (C_{пм}), легко-, умеренно- и минерализуемых фракций (C₁, k₁ > 0.1 сут⁻¹; C₂, 0.1 < k₂ > 0.01 сут⁻¹ и C₃, 0.01 < k₃ > 0.001 сут⁻¹ соответственно), а также рассчитывали кинетические константы минерализации C_{пм} (k, сут⁻¹) и разных по степени минерализуемости фракций активного органического вещества.

Исходное содержание C_{орг} в современных каштановых почвах было в 1.6–2.0 раза выше, чем в погребенных почвах, самые низкие значения C_{орг} (0.52%) были зафиксированы в палеопочве, погребенной в I в. н.э. При увлажнении почвы до 40% полной влагоемкости (W1) содержание потенциально-минерализуемого углерода в почвах, погребенных ~ 300 лет назад, составляло 11.53±0.041 и 15.24±0.19 мг C/100 г, а погребенных в V в. до н.э. и в I в. н.э. – 9.30±0.07 и 7.11±0.30 мг C/100 г соответственно. Современные почвы характеризовались значительно более высоким содержанием потенциально-минерализуемого углерода по сравнению с их погребенными аналогами: этот показатель был выше в 3.8 раза (для объекта «Вал») и в 6.3 и 8.3 раз (для объекта «Зензеватка»). Доля C_{пм} от C_{орг} в погребенных палеопочвах составила 1.3–2.2%, а доля C_{пм} от C_{орг} в современных почвах – 4.0–5.8%. При увлажнении W1 константы скорости минерализации C_{пм} для исследуемых погребенных каштановых палеопочв оказались сопоставимыми и были в 1.2 выше, чем для современных их аналогов, т.е. потенциально-минерализуемое органическое вещество современных почв было более устойчиво к его деструкции микроорганизмами.

При повышении увлажнения почв до 60% полной влагоемкости (W2) содержание потенциально-минерализуемого углерода в почвах в среднем по объектам увеличивалось по сравнению с первым уровнем увлажнения в 1.1 и 1.3 раз соответственно для погребенных палеопочв и современных каштановых почв. Кинетические константы скорости минерализации C_{пм} при увеличении увлажнения для палеопочв объекта «Вал» несколько уменьшились, а для объекта «Зензеватка» – увеличились. Величины k для современных почв обоих объектов уменьшились при увеличении увлажнения в 1.1–1.2 раза.

В структуре активного органического вещества всех исследуемых почв не обнаруживалась фракция среднеминерализуемого углерода. При увлажнении W1 соотношение фракций легко- (C₁) и трудноминерализуемого (C₃) углерода для погребенных почв составило в каштановых палеопочвах, погребенных 300 лет назад, 4.6 и 4.4, в палеопочвах, погребенных в V в. до н.э. – 4.4 и в I в. н.э. – 4.3, а в фоновых почвах оно равнялось 6.9 и 5.1 соответственно для объектов «Вал» и «Зензеватка». С увеличением увлажнения соотношение

C₁:C₃ в палеопочвах и современной почве объекта «Вал» увеличилось в 1.1 раза, в палеопочвах V в. до н.э. и I в. н.э. оно уменьшилось в 1.1 и 1.2 раза соответственно, а в фоновой почве объекта «Зензевака» увеличилось в 1.5 раза.

Таким образом, увеличение увлажнения привело не только к усилению потенциальной минерализации, но и к изменению структуры активного органического вещества каштановых почв нижневолжских степей. Подобные исследования важны при прогнозировании влияния климатических изменений на размеры продуцирования диоксида углерода, а также на количественное и качественное состояние органического вещества.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках госзадания № 122040500037-6.

УДК 551.50

СЕРВИС ПОГОДЫ, КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫМИ РЕСУРСАМИ

Усачева М.А., Цымбарович П. Р., Доброхотов А.В.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: usa4eva.m@mail.ru

Для повышения эффективности и устойчивости сельского хозяйства необходимы современные технологии высокого качества. Одним из ключевых компонентов успешного планирования сельскохозяйственных решений являются метеорологические данные. В условиях современных климатических изменений это особенно актуально, так как они существенно влияют на продуктивность почв.

Прогнозирование климатических данных становится критически важным для своевременного реагирования и адаптации методов управления землепользованием. Для любого прогноза агрометеорологической модели нужны начальные метеорологические поля. Наш сервис погоды предоставляет два типа прогнозов: сезонные и климатические. Это мощный инструмент для поддержки планирования и управления почвенными ресурсами. Исходные данные формируются из международной базы данных модели GFSv2 (Global Forecast System, версия 2), которая проходит тщательную валидацию и калибровку для обеспечения точности и надежности.

Для решения агрометеорологических задач метеорологические данные часто получают с помощью различных генераторов погоды, основанных на статистических моделях. Однако, используя гидродинамическую модель, сочетающую атмосферные, химические и океанические компоненты, можно достигнуть более точного прогнозирования. Модель GFSv2 показала высокую степень достоверности при сравнении с историческими данными, с точностью прогнозов на 10 дней, достигающей 96%.

Пользователям доступны сезонные прогнозы на 9 месяцев, основанные на реанализе и прогностической продукции. Эти прогнозы включают информацию по 21 переменной. Также доступны климатические данные на среднесуточной основе с 1950 по 2100 год, включающие 9 основных климатических переменных. Сезонные прогнозы обновляются ежедневно для актуализации данных.

Хранение данных на сервере института обеспечивает их быструю доступность для пользователей. Будущие разработки направлены на расширение функциональности и улучшение точности прогнозов.

УДК 631.4, 632.124

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ОПУСТЫНИВАНИЯ

Федотова А.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Опустынивание земель и его последствия прочно вошли в мировую глобальную повестку. Скорость развития опустынивания зависит от почвенно-климатических особенностей конкретного участка и его использования и измеряется обычно годами и десятилетиями. Изменение климата ускорило развитие опустынивания, в том числе и для обширных территорий России. Наиболее сложная ситуация наблюдается в южных регионах, где опустыниванию и деградации подвергаются все большие площади. Интенсивное изменение почвенно-растительного покрова на фоне значительного дефицита почвенной влаги негативно отражается на сельскохозяйственном производстве. Приоритетное значение имеют задачи раннего предупреждения опустынивания и деградации, что в свою очередь, предполагает детальную оценку причинно-следственных связей, оценку устойчивости и емкости экосистем на фоне природных и антропогенных изменений в подобных условиях. Формы проявления опустынивания разнообразны. Основными являются деградация растительного покрова, ветровая эрозия, в меньшей степени водная эрозия, потеря запасов гумуса и влаги в почве, деструктуризация почвы, переуплотнение, засоление и осолонцевание. На их фоне развиваются деградационные процессы, приводящие к изменению биосферных функций почвы, трансформации ценностей биофизической среды и неудовлетворительного состояния экосистем. Происходит это за счет трансформации почвенных свойств и режимов.

Был проведен анализ и обобщение результатов многолетних исследований опустыненных почв в Астраханской области. Временной ряд наблюдений составляет 25 лет. Особенностью климата территории является значительное превышение испаряемости над количеством осадков.

Функционирование почвы в засушливых зонах во многом определяется геоморфологическим положением конкретного участка. Гидроморфные почвы локализованы в дельте Волги и представлены луговыми, лугово-болотными или луговыми солончаками. Гидроморфные почвы периодически затапливаются во время весенне-летних половодий. На поверхности откладываются илистые частицы. После падения уровня воды, под действием высоких температур воздуха происходит интенсивное испарение почвенной влаги, и подтягивание солей к поверхности капиллярными токами. Пересушенная поверхность подвергается растрескиванию. Этот цикл засоления/рассоления повторяется ежегодно и определяет функционирование данных почв в условиях галоморфного опустынивания. Происходит смещение растительности в сторону солелюбивых видов.

Полугидроморфные почвы функционируют в условиях дополнительного увлажнения за счет поверхностного увлажнения под влиянием местного стока или грунтовых вод. Как правило, это своеобразные очень динамичные буферные зоны, зависящие от гидрологического режима территории.

Автоморфные почвы представлены зональными разновидностями (бурые аридные, светло-каштановые) и наиболее подвержены процессам опустынивания. Характеризуются крайне низкой влагообеспеченностью, влажность почв поверхностного слоя в летний период составляет 1-3%, а температура почвы превышает 70⁰С. Основной причиной развития опустынивания в аридных регионах является именно дефицит влаги. Растительный покров сильно изрежен, проективное покрытие на уровне 10-15%. В условиях малой влагообеспеченности и крайне скудного растительного опада процессы гумусообразования значительно замедляются. Здесь процессы опустынивания наиболее интенсивны и развиваются преимущественно за счет дефляции. При наличии солей в почвенном профиле развиваются процессы осолонцованности на фоне переуплотнения иллювиальных горизонтов. За период наблюдений на статистически значимом уровне существенно уменьшились запасы влаги и гумуса в автоморфных почвах, отмечается тенденция увеличения плотности и содержания солей.

На сельскохозяйственных землях, подвергающихся ежегодной распашке, происходит физическая деградация почвы, проявляющаяся в виде устойчивого изменения агрегатного состояния и гранулометрического состава. Происходит дезагрегация почвы, резко уменьшается количество агрономически ценных агрегатов. Разрушение почвенной структуры способствует дефляции мелких фракций, что приводит к сокращению доли агрономически ценных агрегатов. Опустынивание вызывает изменение соотношения гранулометрических фракций. Изменение гранулометрического состава соотносится с изменением плотности почвы и водопроницаемостью, имеющими большое значение для развития растительности. Влагоемкость почв также определяется гранулометрическим составом. Потеря мелкодисперсных фракций значительно ухудшает почвенные свойства. Последней стадией деградации являются массивы песчаных почв, открытые пески, лишенные растительного покрова и подвергаемые сильной дефляции. К сожалению, ареалы очагов опустынивания увеличиваются.

Многолетние ряды наблюдений показали, что в процессе опустынивания меняются почвенные свойства и режимы. Наиболее чувствительными к проявлениям процессов опустынивания в почвах оказались запасы влаги и гумуса, величины плотности почвы и сопротивления пенетрации, а также содержание солей в почве.

Устойчивая тенденция негативных изменений в почвенном покрове засушливых территорий может привести в ближайшем будущем к необратимым изменениям и экологическому бедствию. Необходимы срочные меры по восстановлению в виде разваловки территорий и применения комплексных технологий по борьбе с опустыниванием и деградацией почв. Для своевременного предупреждения развития процессов опустынивания рекомендуется мониторинг почвенно-растительного покрова (не реже 1 раз в 5 лет), предполагающий изучение почвенных свойств и режимов в корнеобитаемой толще (до 60 см). Результаты мониторинга должны подвергаться тщательному анализу и выявлению тенденций изменения почвенных свойств и растительности.

При выявлении устойчивого тренда изменений базовых свойств почвы (плотность, порозность, гранулометрический состав, содержание солей, влагопроводящие свойства и тд.) данные местообитания должны быть незамедлительно включены в график фитомелиоративных восстановительных работ, перечень и состав которых должен быть основан на специфике почвенно-климатических условий.

Необходимо организовать наблюдение за эффективностью восстановительных работ и восстановлению почвенных свойств до их оптимальных значений в соответствии с природно-климатической зоной. Существующая градация и выделение оптимальных величин почвенных свойств, принятых условно за «норму» (по Качинскому) применительно к почвам, подвергающимся процессам опустынивания не столь эффективна, так как засушливые территории ограничиваются степной зоной. Условиям Астраханской области должна соответствовать зона пустынь и полупустынь. Одной из задач является разработка критериев и пределов оптимальных свойств применительно к различным стадиям и видам опустынивания почв.

Работа выполнена в рамках № 05/ВИП ГЗ; Соглашение № 169-15-2023-001 от 01.03.2023 года) по теме «Создание и развитие системы мониторинга современного состояния опустыненных земель, моделирования и прогнозирования развития процессов опустынивания территорий, восстановления пострадавших земель аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов в обеспечение действий по борьбе с опустыниванием (ДБО)»

УДК 631.46

БИОМАССА И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ И МАКРОФАУНЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПОЛИГОНА «ЧАШНИКОВО»

Чекин М.Р., Поздняков Л.А., Рахлеева А.А., Сорокин А.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: mrchekin@soil.msu.ru

Живая фаза почвы (микроорганизмы и макрофауна) являются важной составляющей цикла органического углерода. Дыхание почвы характеризует всю совокупность биохимических и физических процессов, которые, в конечном счете, приводят к выделению CO_2 .

Целью исследования являлось определение биологической активности дерново-подзолистых почв полигона «Чашниково» и дальнейшая оценка пулов и потоков углерода.

Отбор проб проводился в июле-августе 2023 года на территории лесной экосистемы карбонового полигона «Чашниково» в Солнечногорском районе Московской области. Преобладающий тип леса: Ельник с березой кислично-волосистоосоковый (*Betuleto-Piceetum oxalidoso-pilosae carecosum*), возраст елей – 70 лет. Было исследовано 5 опытных площадок, каждая включала 1 почвенный разрез и 2 прикопки. Отбор и анализ микробиологических образцов и почвенно-зоологических проб проводили в соответствии с «Методическими рекомендациями по отбору образцов и проб для оценки динамики запасов углерода в лесных, тундровых и степных экосистемах в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ)». В анализ микробиологических образцов входило определение базального дыхания (БД) и субстрат-индуцированного дыхания (СИД) методом газовой хроматографии. Также был рассчитан микробный метаболический коэффициент $q\text{CO}_2$. Анализ почвенно-зоологических проб заключался в определении видового состава, численности и биомассы дождевых червей на пробных участках, а также определение их принадлежности к той или иной морфоэкологической группе.

На территории полигона «Чашниково» базальное дыхание (БД) подстилок колеблется от 7,05 до 36,56 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$ при естественной влажности, при этом наибольших значений показатель достигает на пробной площади 5, а наименьших – на пробной площади 2.

Величины субстрат-индуцированного дыхания (СИД) меняются от 17,59 до 66,50 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, наблюдается тенденция к росту показателя от 1 до 5 площадки. Запасы $S_{\text{мик}}$ в подстилках составляют от 1,32 до 4,57 мг/г при естественной влажности, а $q\text{CO}_2$ составляет – 2,35 до 13,06 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{мг}^{-1}\text{Смик}\cdot\text{ч}^{-1}$. Таким образом, для подстилок из Чашниково характерна высокая интенсивность микробного разложения органического вещества.

В почвенном профиле показатели базального дыхания аэробных гетеротрофных микроорганизмов снижаются от в среднем 0,42 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$ в верхних горизонтах А до 0,07 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$ в нижних горизонтах. Наибольшие значения БД по всему профилю наблюдаются для почв пробной площадки 4, также для нее, площадки 2 и прикопок площадки 5 отмечаются относительно более высокие показатели БД в горизонте АЕ и более плавное снижение их по профилю. СИД снижается по профилю от 4,75 до 0,36 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, то есть градиент оказывается более сильным, чем для БД.

$q\text{CO}_2$ для большинства почвенных образцов составляет 0,6-3,5 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{мг}^{-1}\text{Смик}\cdot\text{ч}^{-1}$, в среднем – 2,6. Для профильного распределения характерно возрастание вниз по профилю, часто с локальным минимумом в горизонте АЕ. В горизонтах В показатель достигает крайне высоких значений 10-13 $\text{мкг С-CO}_2\cdot\text{мг}^{-1}\text{Смик}\cdot\text{ч}^{-1}$, а микробные сообщества почти не откликаются на внесение дополнительного источника легкодоступного углерода, демонстрируя отсутствие пула покоящихся форм микроорганизмов и высокие удельные затраты энергии на поддержание существующей биомассы. Полученные результаты соотносятся с исследованиями в подобной природной зоне.

Анализ почвенно-зоологических проб показал следующее: средняя численность дождевых червей составила 57 экз./ м^2 , а средняя биомасса – 50 г/м^2 . Среди люмбрицид были обнаружены три вида – почвенно-подстилочный вид *Lumbricus rubellus*, собственно-почвенный вид *Aporrectodea caliginosa caliginosa* и норный вид *Lumbricus terrestris*. Подстилочных дождевых червей среди проб не было найдено. По численности преобладала группа собственно-почвенных дождевых червей: максимальное значение 112 экз./ м^2 , среднее

– 36 экз./м², максимальная биомасса составила 71,9 г/м², среднее – 26,9 г/м². Численность почвенно-подстилочных дождевых червей в среднем составила 17 экз./м², что в 2,1 раза ниже численности почвенных червей (36,3 экз./м²) и в 5 раз выше численности норных червей (3,2 экз./м²). Биомасса почвенно-подстилочных дождевых червей составила 9,4 г/м², что в 1,5 раза ниже биомассы норных дождевых червей (13,7 г/м²), и почти в 3 раза ниже биомассы почвенных червей (27 г/м²). В целом, выявленные значения не противоречат известным данным для выбранной природной зоны, с учетом указанного срока отбора проб. Таким образом, полученные результаты могут являться важной частью системы мониторинга динамики почвенных пулов и потоков углерода в лесных экосистемах. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 911.2

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Шатунов А.Е., Шилов П.М., Филь П.П., Доброхотов А.В., Фомин Д.С.

ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Россия, Москва, лаборатория цифровых двойников агроландшафтов tohavilli@yandex.ru

Введение. Россия занимает третье место в мире по производству пшеницы. В среднем на территории страны наблюдается общая тенденция к росту урожайности пшеницы, однако между годами наблюдаются сильные колебания урожайности. Влияние климатических изменений на урожайность озимой пшеницы и ее климатической уязвимости являются актуальными тематиками для исследований в контексте обеспечения продовольственной безопасности.

Территория исследования. Тамбовская область обладает типичными физико-географическими условиями для этой лесостепной зоны России, и поэтому она была выбрана в качестве территории исследования на уровне 23 муниципалитетов. Значительную часть Тамбовской области занимает Окско-донская низменность на западе, юге и в центре области, а на востоке расположена Приволжская возвышенность. Климат умеренно-континентальный, средняя температура января –8-9 °С, июля +19-20°С. Осадков в среднем за год выпадает от 450 до 550 мм. С севера на юг июльские температуры растут с 18 до 21 °С. Черноземные почвы занимают большую часть области, но на севере вместо них чаще встречаются серые лесные и дерново-подзолистые.

Материалы и методы. Данные урожайности в муниципальных районах с 1973-1990 и 2000-2022 гг., а также данные о среднем количестве внесенных удобрений за 1974-1976, 1978-1980, 1987, 1990, 2000-2022 были получены из открытых данных российской службы федеральной статистики.

Климатические данные с 1973 по 2022 год по температуре (t) и влажности (rh) воздуха, осадкам (p) были получены из модели реанализа ERA5-Land.

Разделение климатических параметров было проведено в соответствии с фенологическими фазами развития озимой пшеницы. Для разделения были выбраны следующие фазы онтогенеза растений: 1) стадия посева и прорастания с 01.09 по 30.09, 2) яровизация с 01.10 по 30.11, 3) зимовка с 01.12 по 15.03, 4) кущение и рост колоса с 16.03 по 31.05, 5) цветение и созревание с 01.06 по 15.07. Диапазон даты для каждой фазы выбирался исходя из средних сроков начала и завершения стадий развития растений для Тамбовской области.

Для каждой фенологической фазы развития растений были выбраны следующие климатические параметры: средняя температура воздуха (t_{avg} , °C), средняя относительная

влажность воздуха (rh_avg , %), сумма осадков (p_sum , мм), максимальная продолжительность периода без осадков, осадки <1 мм ($p0_int$, дни), максимальное количество осадков за сутки (p_max , мм).

Для удаления тренда резкого роста урожайности использовалась локально-взвешенная регрессия (LOWESS).

Для учета влияния разнообразия почв в каждом районе был составлен список почвенных свойств на основе оценки Soil Qualities for Crop Production: насыпная плотность, содержание органического углерода в почве, общее количество обменных оснований, насыщенность основаниями, емкость катионного обмена почвы, содержание карбоната кальция, обменная кислотность, текстура почвы. Для дальнейшего отбора использовался анализ корреляции Пирсона между почвенными свойствами.

Для оценки значимости отдельных климатических параметров (feature importance) в объяснении урожайности был использован инструмент машинного обучения – градиентный бустинг над деревьями решений. В качестве градиентного бустинга была использована модель CatBoost, ее реализация в библиотеке Python catboost.

Для интерпретации полученных результатов и визуальной оценки влияния каждого из отобранных климатических параметров на изменения урожайности озимой пшеницы была построена SHAP (Shapley additive explanations) диаграмма, основанная на статистическом подходе Шепли из теории игр. Для построения SHAP диаграммы была использована одноименная библиотека Python. Диаграмма SHAP построена на основе тестовой выборки. Исследуемые набор данных был разбит на обучающую и тестовую выборки в пропорции 70 % / 30 %. В качестве функции потерь для обучения модели градиентного бустинга был выбрана среднеквадратическая ошибка (RMSE). Поиск оптимальных параметров модели на обучающей выборке был произведен с помощью инструмента `grid_search` библиотеки catboost. Для поиска гиперпараметров была проведена кросс-валидация с разбиением обучающей выборки на 5 равных подвыборок.

Результаты и обсуждение. Поскольку рост урожайности после 2008 года совпадает по времени и началом активного внесения удобрений с того же года, мы удалили тренд для того, чтобы снизить влияние удобрений на рост урожайности и анализировать только влияние климатических и почвенных предикторов.

Поскольку почвенные предикторы очень сильно коррелировали между собой (корреляция Пирсона 0.7-0.8) был в модель взят предиктор с наибольшей корреляцией с урожайностью озимой пшеницы – содержание органического углерода в почве (корреляция Пирсона 0.7).

По прекращению роста значений R^2 при добавлении предикторов было отобрано 9 предикторов с наибольшим вкладом в качество модели.

На стадии посева и прорастания наиболее важными предикторами были суммарное количество осадков и относительная влажность воздуха. Согласно полученным нами результатам, количество осадков менее 30 мм за это время приводит к снижению урожайности. При этом влажность воздуха выше 65% наоборот приводит к постепенному снижению урожайности, что, вероятно, связано с развитием грибка. На стадии яровизации оптимальная средняя температура воздуха за рассматриваемый период 1.5 °C и менее, что, вероятно, связано с худшей закалкой и в дальнейшем зимовкой. Высокая влажность воздуха также приводит к снижению, но начиная с 75%. Более высокие температуры в стадию зимовки оказывает положительное влияние на урожайность. Наиболее высокая урожайность наблюдается при средних температурах за период более -5.5°C. При этом количество осадков более 125 мм приводит к снижению урожайности, достигая наибольшего отрицательного влияния и выходя на плато при 200 мм. На стадии кущения и роста колоса изменения температуры оказывают слабое влияние на изменение урожайности. Наиболее важно на этой стадии количество осадков. При это максимальное положительное влияние на урожайность выявлено в интервале от 110 до 140 мм за рассматриваемый период. В стадии

цветения и созревания важных предикторов не выявлено. Рост содержания органического углерода в почвах вполне естественно оказывает положительное влияние на урожайность. Таким образом, в данной работе нами предложен метод по оценке важности влияния климатических предикторов на урожайность сельскохозяйственных культур и выявлении наиболее важных количественных значений, при которых наблюдается рост или снижение урожайности. Наиболее важным предиктором стало количество осадков.

(R) РАБОЧАЯ ГРУППА. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОХРАНЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ

УДК 631.46

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ПОЧВ

Дабахов М.В.¹, Дабахова Е.В.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail mvd1969@yandex.ru;

²Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, e-mail dabakhova@yandex.ru

Система охраны почв в Российской Федерации обеспечивается комплексом нормативно-правовых документов, основой которых являются федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ, ряд кодифицированных нормативных актов, включающих в себя Земельный кодекс и Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях, нормативные правовые акты Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации, а также ряд документов, разрабатываемых и вводимых в практику отдельными ведомствами, в том числе Министерством природных ресурсов и экологии и Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии.

В составе указанных документов особую значимость имеют разделы, раскрывающие содержание терминов и понятий, имеющих базовое значение для осуществления правоприменительной практики, в том числе для идентификации объекта охраны (почва) и его места в совокупности компонентов природной среды, идентификации вида и факторов негативного воздействия на почвы, установления подходов к его нормированию.

В настоящее время можно констатировать, что в процессе расширения и развития нормативно правовой базы охраны почв с момента принятия федерального закона «Об охране окружающей среды» произошла ее значительная десинхронизация, которая выражается в возникновении противоречий между положениями ряда актов, что влечет за собой необходимость уточнения формулировок и осознания потребности во введении правового регулирования аспектов законодательства об охране почв, которым ранее не уделялось должного внимания.

В первую очередь следует обратить внимание на уточнение понятия «почва» и проведения четкой демаркации между понятиями «почва» и «земли». Актуальность этого обусловлена тем, что почва, как указано в ГОСТ 27593-88 «Почва. Термины и определения», представляет собой самостоятельное естественно-историческое органо-минеральное природное тело, обладающее плодородием и являющееся функцией комплекса почвообразующих факторов. При этом за рамки данного определения выпадают такие природно-антропогенные объекты, как рекультивированные почвы (в том числе и сельскохозяйственных угодий, земель лесного фонда, рекреационных объектов), обширный спектр городских почв, участки восстанавливающихся естественным образом почв на отвалах различного происхождения. В то же время в классификации почв России (2004 г.) выделены антропогенно-преобразованные почвы, не соответствующие стандартному определению, но в научных публикациях и учебно-теоретических изданиях эти объекты все чаще рассматриваются именно как почвы.

Одной из проблем, связанных с данной ситуацией, является не соответствующее нормам природоохранного законодательства, однако встречающееся в практике применение надзорными органами «Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (утв. приказом Минприроды №238 от 08.07.2010 г.) по отношению к почвоподобным телам, сформировавшимся на поверхности техногенных образований, а также к землям, не имеющим почвенного покрова.

Чрезвычайно значимым с правовой точки зрения является актуализация подхода к понятиям «загрязнение» и «загрязняющее вещество». Проблема в данном случае состоит в том, что загрязнение в формулировке, представленной в федеральном законе «Об охране окружающей среды», является недостаточно конкретным и не содержит критериев или отсылки к критериям оценки негативного воздействия на почвы. В данном случае можно указать на ошибочность практики одинакового подхода к рассмотрению различных компонентов окружающей среды (атмосферный воздух, природные воды, почва и др.) при регламентации процесса нормирования. Так, если увеличение концентрации какого-либо вещества в составе атмосферного воздуха может чаще всего быть следствием загрязнения, то для природных вод это утверждение уже не так однозначно, а по отношению к почвам категорически неверно, поскольку многие химические элементы и соединения, в высоких концентрациях являющиеся опасными для биоты и ухудшающие экологическое состояние экосистем, при более низком содержании в почве представляют собой незаменимые элементы питания растений, недостаток которых опасен не менее, чем избыток. В данном случае очевидно, что в нормативно-правовой базе понятие «загрязняющее вещество» должно сопровождаться отсутствующим в настоящее время понятием «природное биологически значимое вещество», представляющее собой химический элемент или соединение природного происхождения, имеющее биологическое значение. Однако вступивший в силу «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» (утв. распоряжением Правительства РФ №2909-Р от 20.10.2023 г.) безоговорочно относит к загрязняющим такие природные элементы и соединения, как железо, кальций, магний, калий фосфаты, нитраты, аммоний и др., что позволяет считать загрязненными практически любые почвы, в том числе сельскохозяйственные угодья, окультуривание которых включает в себя обогащение биогенными элементами, отнесенными действующей нормативно-правовой базой к загрязняющим веществам.

Одним из наиболее актуальных вопросов, которому существующей нормативной базой уделяется недостаточное внимание, является проблема установления и правильного применения фонового содержания химических элементов и соединений в почвах, используемого, наряду с санитарно-гигиеническими нормативами ПДК/ОДК, как нормативный показатель качества почв. При этом только в ГОСТ 27539-88 «Почвы. Термины и определения» имеется определение понятия «фоновое содержание вещества в почве», установленное как «содержание вещества в почве, соответствующее ее природному составу». Однако учитывая проблематичность определения значения данного показателя в регионах с высокой плотностью населения и развитой индустрией, целесообразным представляется принятие и введение в нормативно-правовую базу в целях оценки геохимической трансформации почв, а также установления факта и степени их загрязнения в результате нарушения законодательства об охране почв понятий «региональный фон» (или «природно-антропогенный фон»), а также «локальный фон».

В целях устранения проблем, связанных с несовершенством понятийного аппарата в области охраны почв, необходима разработка и принятие федерального закона «О почвах», аналогично принятым ранее нормативным актам, регламентирующим охрану и использование прочих компонентов природной среды: Водному, Земельному, Лесному кодексам, а также федеральным законам «О недрах», «Об охране атмосферного воздуха», «О животном мире». Закон «О почвах» должен стать стержневым элементом нормативной базы системы охраны почв. При этом наиболее значимыми являются разделы закона, в которых будут установлены:

- понятие «почва» и ее место среди прочих компонентов природной среды;
- классификация и определения видов негативного воздействия на почвы;

- подходы к нормированию загрязнения почв, учитывающие дуалистическую природу химических элементов и соединений, а также естественную вариабельность состава почв, обусловленную природными факторами;
- понятия «фон», «природный фон», «региональный (природно-антропогенный) фон», «локальный фон», подходы к их количественному определению и практическому применению.

УДК 631.4

БАЗОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕРМИНОЛОГИИ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОЧВЕННЫМИ РЕСУРСАМИ И ПРОВЕДЕНИИ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ

Соловьев Д.А.¹, Морозов И.В.^{1, 2}

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, solovev@esoil.ru;

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, migovad@sfedu.ru

Решение управленческих задач в случае использования почвы как природного ресурса, в том числе эффективность контрольно-надзорных мероприятий в сфере природопользования, всесторонность, полнота и объективность почвенно-экологической экспертной оценки предусматривает различение таких базовых понятий, как «почва» (т.е. почва как природное тело) и «почвенные ресурсы». Очевидно, что поскольку данные понятия не являются синонимами, возникает необходимость разработки непротиворечивого понятийно-терминологического аппарата, методологических подходов и методических приемов анализа, оценки и систематики, специфических для каждой рассматриваемой терминологической системы.

Более чем 140-летний период развития почвоведения не привел почвоведов к выработке единственного общепринятого и непротиворечивого термина «почва», обозначающего специфическое природное тело, сформировавшееся на стыке живой и неживой природы, и отвечающего требованиям всесторонности, полноты и объективности. Интуитивное выделение почвы как самостоятельного природного тела приводит к наличию ошибок, неточностей и противоречий не только в области научных исследований, но и неизбежно при решении управленческих и экспертных задач.

Что такое почвенные ресурсы? Чем они отличаются от почв?

Согласно Словарю иностранных слов современного русского языка (Егорова, 2014; С. 578), ресурс (от *фр. ressource*) – запас, возможность, источник чего-либо (т.е. источник покрытия нужд, потребностей).

Почва становится почвенным ресурсом в момент, когда мы рассматриваем ее с точки зрения пользы для человека. Следовательно «рациональное использование» подразумевает разумное, обоснованное, целесообразное использование с максимальной выгодой для человека.

Соответственно и нормы права формируются таким образом, чтобы стимулировать сохранение и приумножение почвенных ресурсов.

В чем же польза почвы для человека?

Почва может выступать как ресурс в трех вариантах.

1. Производственный (утилитарный/традиционный). Почва – предмет труда, средство труда, т.е. средство производства («Мать-кормилица»). Базовая функция в данном случае – плодородие. Реализуемый сервис – получение продукции (сельскохозяйственной, лесохозяйственной и др.). Выгодополучатель – субъект, непосредственно участвующий в процессе производства, распределения и потребления продукции. Основное направление деятельности – поддержание и повышение почвенного плодородия. Соответственно, с точки зрения закона, все что направлено на выполнение этих задач является благом и должно поощряться материально и юридически. Снижение почвенного плодородия – с точки зрения этики и морали – грех, с точки зрения юриспруденции – правонарушение, преступление.

Плодородие поддается измерению прямо, например, через тонны на гектар или рубли с квадратного метра, а также косвенно – через нормативно установленные показатели почвенного плодородия, баллы бонитета или нормативную урожайность.

Нормативно-правовое поле имеет массу инструментов, обеспечивающих сохранение и увеличение почвенного плодородия, стимулирующих проведения мелиоративных, культуртехнических работ, репрессивных инструментов, карающих за снижение почвенного плодородия вплоть до изъятия участка.

2. Экологический – формируется с середины XX в. Почва – базовый элемент окружающей среды. Нет «плохой» почвы, если она природная, т.е. не трансформированная человеком.

Требование аналогичное сохранению биоразнообразия, т.е. с точки зрения сохранения почвенного разнообразия. Подлежат защите и охране все почвы, тундровые, болотные, пустынные, солонцы, солончаки и т.д. В природе все целесообразно. Функции почвы в данном случае разнообразны. Сервис – среда обитания, буферизация углерода, поддержание баланса состояния окружающей среды и т.п. Критерием соответствия исследуемого ресурса требуемым показателям является «ненарушенность» почвы. Есть утвержденные методики оценки нанесенного вреда и расчет денежного исчисления ущерба от этого вреда.

Выгодополучателем при реализации такой парадигмы является все человечество.

Новейшим трендом реализации экологического подхода является активная трансформация функций почвы в интересах улучшения биосферных показателей. Например, создании углеродных ферм, основное назначение которых не извлечение прибыли, но депонирование углерода в почве и получаемой биомассе. Депонирование углерода также поддается измерению и оценке. Цель ближайшего времени – унификация этих показателей.

К настоящему времени сложилась конструкция многоступенчатой правовой защиты окружающей среды и почвы, как ее базового элемента от Конституции РФ (ст.42), УК РФ (ст. 254), КоАП РФ (ст.8.6 и 8.7) и до подзаконных актов и методик расчета ущерба за порчу почвы. Активно разрабатываются правовые механизмы, стимулирующие землепользование с нулевым углеродным балансом, вводящие углеродный налог и поощряющие депонирование органического вещества почвой.

3. Городской и/или урбанистический. Функции почвы более многочисленны и включают в себя как те, что описаны выше (плодородие и экология), так и иные, технические и нематериальные. Такие, например, как адсорбционная способность, влагоемкость и/или рекреационная ценность. Сервисы также многоплановые или комплексные, т.е. образуемые группой функций. Это могут быть и рекреационные (парки), и производственные (городские фермы), и технические (адсорбция поллютантов и буферизация залповых ливней). Среди сервисов городских почв выделяют также комфорт, безопасность и даже духовное обогащение. Выгодополучатели – городские жители, то есть ограниченная группа лиц, которая может и не иметь экономической связи с почвами, но пользуется благами от качественного выполнения почвой своих сервисных функций. Основная проблема для эксперта в этом пункте – отсутствие общепринятых критериев/показателей, позволяющих измерить качество исполнения этих функций и, соответственно, оценить реализацию соответствующих сервисов. В нашей стране наиболее глубоко с нормативной точки зрения этот вопрос проработан в Москве. Так, Закон г. Москвы «О городских почвах» № 31 от 4 июля 2007 г., дает только общие требования по «охране, рациональному использованию, восстановлению и улучшению почв». Следствием отсутствия таких критериев является подмена их показателями, используемыми при производственном и/или экологическом подходах. Так, Постановление Правительства Москвы № 514 от 27 июля 2004 г. «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве» содержит перечень показателей, отражающих их потенциальное плодородие и степень соответствия санитарно-гигиеническим требованиям.

Следовательно, городские почвы являются особым ресурсом с функциями и сервисами, отличными от почвы как средства производства и почвы как элемента биосферы. Следует

разработать для рационального использования и «преумножения» их функций и сервисов, самостоятельный нормативно-правовой и нормативно-технический аппарат. Требуется не только нормативно закрепить перечень сервисов, которые они предоставляют, но и связать их с измеряемыми показателями почвенных свойств, а также дать их количественные критерии, позволяющие эксперту производить оценку их состояния как ресурса. И, в итоге, разработать законы и правила, стимулирующие эти сервисы развивать и преумножать.

УДК 631.46

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ, КАК САМОСОЯТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Яковлев А.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail Yakovlev_a_s@mail.ru

Каждый компонент окружающей среды в том числе и земли характеризуется свойственной ему системой экологического функционирования (Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ). Одной из основных особенностей экологического функционирования земель, служит, то что это происходит в рамках конкретных земельных образований, (земельных участков), в границах которых сосредоточен определенный природный комплекс. В составе этого природного комплекса не всегда представлен весь набор известных компонентов окружающей среды. Так для земель ООПТ он может быть достаточно полным, а для земель промышленности и транспорта – не иметь в своем составе почвенного покрова и других компонентов окружающей среды (ОС). Это обстоятельство часто приводит природопользователей в определенное затруднение, особенно в процессе организации работ по экологической оценке, мониторингу, землеустройству и др. Сложившаяся ситуация характеризуется смешением понятий и определенной путаницей в управлении современным природопользованием и охраной ОС. Учитывая, что земельные участки отличаются по видам хозяйственного назначения, требования к их экологическому качеству и уровню функционированию так же значительно различаются. В этой связи, возникает необходимость суммарной оценки антропогенной нагрузки на весь природный комплекс земельных образований с выделением доминирующих и второстепенных факторов антропогенного воздействия. В качестве реакции ОС на суммарную нагрузку, может быть проведена комплексная оценка экологического состояния территории.

На практике интегральная оценка всего природного комплекса земель чаще всего производится по состоянию представленных на изучаемой территории почв. Считается, что оценка почвы в сравнении с другими компонентами ОС, входящими в природный комплекс земель, позволяет получить наиболее емкое в экологическом и ресурсном отношении представление о показателях качества земель. Такой способ сочетания почвенно-земельных сведений традиционно и достаточно успешно применяется в условиях сельскохозяйственного использования земель, где почва служит основным объектом природопользования.

Тем не менее, в области остальных видов хозяйственного назначения земель, например, экологического регулирования качества земель поселений, промышленности и транспорта, где в отдельных случаях почвенный покров может отсутствовать, оценка земель по почвам не дает возможности объективно оценивать и регулировать качество окружающей среды в целом. К важным особенностям функционирования земель может быть отнесено то, что, согласно гл.1 Земельного кодекса РФ [№ 136-ФЗ от 25.10.2001] земли, как самостоятельные компоненты ОС могут быть охарактеризованы с позиции их триединого функционирования, состоящего из экологической, ресурсной и социально-экономической составляющих, где: – экологическая составляющая представляет собой функционирование природного комплекса компонентов окружающей среды (почвы, атмосферный воздух, водные объекты,

животный и растительный мир, недра и др.), сложившегося на территории конкретного земельного участка;

– ресурсная составляющая — компоненты природного комплекса земель, используемые в качестве природных ресурсов;

– социально-экономическая составляющая характеризуется условиями жизни человека и функционированием социума, сложившегося на конкретной территории.

Тем не менее, ни в научной, ни в производственной сферах страны до настоящего времени не сложилось четких представлений о разделении функций почв и земель в системе оценки, нормирования и управления их качеством. На государственном уровне до сих пор не принят закон «Об охране почв», который позволил бы прописать такое разделение. В тоже время, если вопросы экологического функционирования почв относительно подробно представлены в работах Г.В. Добровольского и Е.Д. Никитина и др. авторов, то особенности функционирования земель требует отдельного рассмотрения.

Опираясь на сложившийся научно-практический опыт природопользования и существующую законодательную базу, мы попытались выделить специфические особенности функционирования земель как самостоятельных компонентов ОС. В этой связи важным этапом развития оценки и экологического нормирования служит реализация положений, изложенных в Постановлении Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды...», в котором рассматриваются подходы к эталонированию почв и земель, а также определению граничных значений их качества, что позволяет говорить о установлении регионального природно-антропогенного фона окружающей среды.

(S) КОМИССИЯ ПО ПАЛЕОПОЧВОВЕДЕНИЮ

УДК 631.46

СПЕЦИФИКА СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПАЛЕОПОЧВ ТУВЫ

Бажина Н.Л.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, natasha-bazhina@mail.ru

Как известно, палеопочвы разного возраста и условий формирования являются источником информации о природной среде, в которой они формировались. Эта информация содержится в морфологических, физико-химических свойствах почв, а также их компонентов. Среди последних наиболее ценную и относительно разнообразную информацию о природной среде функционирования имеют гуминовые кислоты (ГК), которые в последнее время все чаще стали применяться при реконструкции палеоприродной среды, в том числе палеоклиматов. Немаловажная причина этого кроется в том, что в настоящий период происходит глобальное изменение климата, связанного, как считают большинство ученых, с увеличением антропогенных воздействий на окружающую среду. Чтобы составлять достоверные прогнозы возможного направления изменчивости природной среды в будущем, очень важно знать, как происходил этот процесс на отдельных территориях в эпоху, предшествующую настоящему периоду, насколько оно было близко или отличалось от современного. Для сравнения нужны разные, полученные независимыми методами, индикаторы состояния компонентов природной среды. Именно поэтому нами предприняты исследования спектральных свойств гуминовых кислот, природа которых тесно связана с особенностями условий их формирования. Кроме того, они аккумулируются в месте своего образования, не мигрируют с глубиной, имеют соответствующий формирующим их природным условиям состав, структурные особенности и свойства и сохраняют эту специфичность в течение длительных периодов времени. Цель настоящих исследований – выявить специфику спектральных свойств гуминовых кислот полигенетичных почв голоценового возраста и показать возможности их использования для выявления ретроспективного тренда экологических условий ряда ключевых участков территории Тувы за последние 8,5 тыс. лет. В качестве объектов исследования выбраны почвы с датированными по радиоуглероду гумусовыми горизонтами палеопочв, присутствующими в полигенетичных почвенных профилях, расположенных на ключевых участках Кара-Холь, Улуг-Хондергей-II, Сут-Холь и Шанчы. Территория Тувы отличается широким разнообразием ландшафтных условий, что позволило выбрать для сравнения ряд почв, расположенных на разных ключевых участках с неодинаковыми (часто контрастными) условиями формирования и различающихся наличием в почвенном профиле палеогумусовых горизонтов разного возраста. Контрастные сочетания климатических условий оставляют существенно различающиеся количественными и качественными параметрами признаки спектральных свойств гуминовых кислот, что дало возможность реконструировать условия формирования палеопочв на разных участках территории Тувы.

Для выявления сложности строения макромолекул гуминовых кислот из разновозрастных горизонтов почв контрастных условий формирования были использованы методы спектроскопии, которые отличаются быстротой исполнения, высокой точностью, а также малой затратностью их выполнения. Были определены спектральные характеристики ГК в видимой и ИК областях, а также свойства их флуоресценции испускания. В качестве количественных параметров использовались: коэффициент цветности ($E_4:E_6$), коэффициент экстинкции ($E^{ГК}$), длина волны максимального проявления флуоресценции испускания ГК (λ_{max} , nm), величина первого момента M_1 и коэффициенты α и β . Были также установлены количественные параметры климатических характеристик (среднегодовой многолетней температуры воздуха и количества осадков), с использованием ранее установленных

показателей спектральных свойств современных почв и их связей с экологическими условиями формирования.

Как показали проведенные исследования, палеопочвы, сформированные в период 8430 ± 135 л. н. имели в своем составе ГК с относительно высокими показателями флуоресценции испускания, которые сопоставимы с таковыми почв современных степных условий территории Тувы. Они имеют высокие величины $E^{ГК}$ и соответствующие им значения $E_4:E_6$ (0,080 и 3,30). Характеристики длины волны максимума флуоресценции и M_1 лежат в диапазоне, характерном для почв относительно теплых и сухих условий формирования. В периоды 7330 ± 80 л. н. и 7745 ± 145 л. н. выявлены близкие свойства палеогумусовых горизонтов к предыдущему, а также тесная связь всех величин спектральных параметров между собой, хотя во втором случае они фиксируют более теплые условия, которые проявляются в более высоком преобладании ароматических фрагментов над алифатическими. Это подтверждает и соотношение структурных группировок, отвечающих за присутствие алифатических и ароматических составных частей в макромолекуле ГК (судя по коэффициенту β). В этот период выявлена самая высокая интенсивность флуоресценции испускания ГК, что может свидетельствовать о педогенном преобразовании этих отложений в более засушливых, чем в предыдущем случае, условиях.

Гумусовый горизонт палеопочвы, сформированный 4970 ± 105 л. н., отличается изменением структурного состояния гуминовой кислоты в большую сторону алифатизации.

Коэффициент α , который в предыдущих объектах превышал 1,0, уменьшается до 0,9, соответственно снижается величина коэффициента экстинкции до 0,074, уменьшается интенсивность флуоресценции и, судя по величине M_1 , сложность сложения ГК. Это фиксируется также небольшим сдвигом в сторону более коротких длин волн положения максимума флуоресценции в пределах синей области спектра. Сравнение этих данных с имеющимся результатами изучения спектральных свойств ГК современных почв Тувы может свидетельствовать о смене условий на менее теплые и более влажные.

Полученные данные, характеризующие гумусовые горизонты палеопочв возраста 609 ± 198 л. н. и 2405 ± 91 л. н. отличаются наибольшим сдвигом положения максимума флуоресценции в синюю область спектра, а также невысокими величинами первого момента и коэффициента экстинкции, которые лежат в пределах, характерных для современных почв холодных и влажных условий климата. Из этого можно сделать вывод, что формирование ГК почв, переработанных педогенезом позднее 2,5 тыс. л. также могло происходить в подобных условиях холодного и влажного климата с наиболее низкими среднегодовыми температурами воздуха и повышенным количеством осадков. Величины коэффициента цветности и коэффициента α этих объектов также не противоречат такому выводу.

Ранее установлено, что величина одной из характеристик оптических свойств в видимой области ($E^{ГК}$) и одной их характеристик флуоресценции испускания (M_1) имеют тесные корреляционные связи между собой и другими показателями состава и структуры ГК. Они также имеют тесные связи с климатическими показателями локальных участков их формирования: среднегодовыми температурами и среднегодовыми осадками. Основываясь на этом, были рассчитаны климатические параметры для изученных палеопочв Тувы разного возраста (рис.).

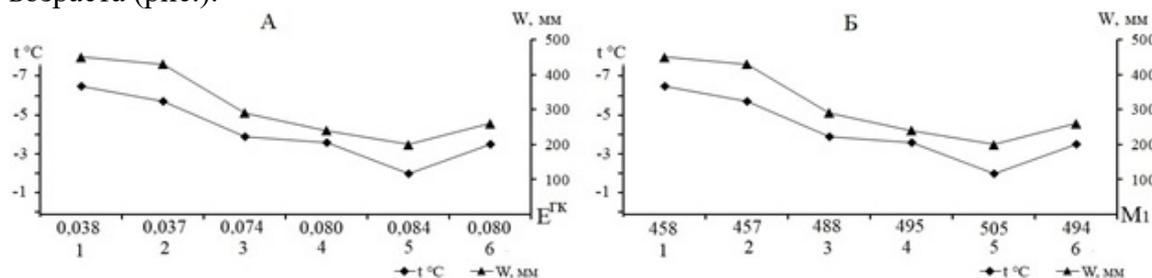


Рис. Сочетание среднегодовых t °С и W , мм, рассчитанных по имеющимся количественным связям показателей $E^{ГК}$ (А) и M_1 (Б) в датированных горизонтах почв Тувы: 1 – Шанчы (609±198); 2 – Кара-Холь (2405±91); 3 – Улуг-Хондергей II (4970±105); 4 – Сут-Холь (7330±80); 5 – Улуг-Хондергей II (7745±145); 6 – Шанчы (8430±135).

Как показали проведенные исследования, в пределах голоцена тренд изменения среднегодовых температур имел тенденцию к похолоданию и увеличению среднегодового количества осадков (от -2,1 °С до -6,6 °С и от 200 мм до 450 мм соответственно).

УДК 631.48

ПЛИОЦЕНОВЫЙ ПЕДОГЕНЕЗ В ЗАПАДНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Вашукевич Н.В.

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, e-mail: nadiav@bk.ru

Изменение нижней границы четвертичной системы в Международной стратиграфической шкале с хронологического уровня 1,8 до уровня 2,6 млн.л. и проблема идентификации новой границы в разных регионах России, требует обобщения и актуализации материалов по позднекайнозойским палеопочвам и вмещающим отложениям на границе неогена и квартера Регионы юга Восточной Сибири (Прибайкалье и Западное Забайкалье) характеризуются наличием хорошо изученных геологических объектов с субэральными неоген-четвертичными отложениями. Основные материалы- геохимические, литологические, палеофаунистические, палинологические с различной детальностью исследований. Сигналы, зашифрованные в виде палеопочв, солифлюксия, лессов, следов криогенеза по большей части приурочены к отложениям голоцена-верхнего плейстоцена. Цель наших исследований- оценка процессов направленности и ритмичности педолитогенеза на юге Восточной Сибири с учетом сигналов глобальных и региональных климатических событий на основании комплексного изучения неоген-четвертичных палеопочв и вмещающих отложений по геохимическим и биологическим маркерам.

Плиоценовый педогенез в Западном Забайкалье изучался на примере разреза Удунга, который был открыт д. г. н. Н.П. Калмыковым в 1985 г. Район исследований находится на южном склоне Хамбинского хребта в долине р. Темник, в месте впадения в нее р. Удунга. Здесь прослежен участок наклонной террасовидной поверхности, выполненной рыхлыми отложениями, образующими предгорный шлейф. Согласно опубликованным последние годы (2017-2023 г.г.) материалам Н.П. Калмыкова, выявлено, что формирование предгорного шлейфа происходило на фоне длительной эволюции геологической обстановки. Особенности литологии позволили выделить три толщи. Первая снизу включает отложения (галечники, галечно-песчано-гравийная смесь) цокольной террасы Палео-Темника, которые залегают на нижнепалеозойских гранитах джидинского комплекса. Вторая толща сложена осадками красноцветной монтмориллонит-карбонатной формации - продуктами коры выветривания, широко распространенной в миоцене и плиоцене Западного Забайкалья, Тувы, Северной Монголии и Китая. Третья толща, лежащая с эрозионным размывом на второй, представляет собой пролювиально-делювиальные образования четвертичного возраста.

Палеопочвенными исследованиями была охвачена вторая толща, где сосредоточен основной палеонтологический материал, состав фауны и стратиграфическое положение таксонов свидетельствуют о том, что удунгинское захоронение млекопитающих сформировалось во второй половине раннего плиоцена (поздний русциний, MN 15). В результате было выявлено три зоны педогенеза, которые Н.П. Калмыковым характеризовались как горизонты 7 – глина красновато-коричневая, с рассеянной дресвой и параллельными, сильно карбонатизированными прослоями, глубина 3-3,3 м от поверхности; 8 – глина красновато-бурая с многочисленными карбонатными конкрециями и скоплениями костей (3,3-4,5 м) и 9 – глина темно-бурая с рассеянной дресвой и включениями вышележащего слоя (4,5-5,4 м).

В результате подробного аналитического изучения горизонтов зоны педогенеза (снизу вверх) были выделены следующим образом. Педогенная зона 1 (4,6-5,4 м) характеризуется максимальным для толщи накоплением органического углерода – до 0,35%. Содержание карбонатов минимально – 1-2%, снижены значения рН до 8,1. В составе гумуса высока доля гуматов кальция (25-39%) и ГК фракции 3 (до 12%). Доля фракции подвижных фульвокислот минимальна для всей толщи – 2-4 %. Отношения Сгк:Сфк 2-4. Можно отметить также минимальный для всей толщи негидролизующий остаток 36-42% (в нижней части зоны). Вероятно, условия формирования данной зоны можно считать наиболее оптимальными по тепло- и влагообеспеченности. Педогенная зона 2 (3,5-4,5 м) характеризуется снижением содержания органического углерода до 0,15-0,18%, резкими флуктуациями содержания карбонатов, которые в нижней и верхней частях достигают 20-30%, а в середине снижаются примерно в три раза. Повышены значения рН 8,5-8,7. В составе гумуса уменьшается как доля гуматов кальция до 20% , так и доля ГКЗ до 4-5%. Отношения Сгк:Сфк колеблются в пределах 1-2,6. Негидролизующий остаток составляет здесь 60-70%. Вероятно, формирование данной зоны происходило при относительном снижении теплообеспеченности и чередовании сухих и влажных условий. В зоне педогенеза 3 (2,9-3,5 м) показатели содержания общего органического углерода близки к зоне 2, значения рН несколько ниже (8,0-8,4). Содержание карбонатов постепенно уменьшается, и в кровле зоны составляет всего 3%. В составе гумуса резко падает доля гуматов Са до 4-12%, повышается доля подвижных фульвокислот (до 14%). Негидролизующий остаток максимален для всей толщи (72-81%). Отношения Сгк:Сфк снижаются до 0,8-0,4. Подобные изменения вещественного состава отложений могут быть связаны с нарастающим похолоданием и увлажнением климата. Для первой и второй зон педогенеза было проведено изучение минерального состава валовых образцов и фракции ила методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре ДРОН-3 (CuK α излучение, с шагом 0.1° и временем сканирования 10 сек.). Фракция (< 2 мкм) выделена методом отмучивания после растирания образца резиновым пестиком в состоянии влажной пасты, без применения химических диспергаторов. Илистая фракция также изучена методом ИК-спектроскопии на спектрометре Nicolet 6700 (FTIR) в технике KBr (1 мг образца и 199 мг KBr на таблетку). В минеральном составе валового образца (глубина 410-420 см) преобладают 2 вида К-полевых шпатов (ортоклаз и микроклин) и кварц. В следовых количествах содержатся слюда и кальцит. В составе образца на глубине 450-460 см заметно выше содержание кальцита (3.04 Å), а на глубине 510-520 см оно снижается. В составе илистой фракции на глубине 410-420 см среди слоистых силикатов доминирует слюда мусковитового типа, в следовых количествах присутствуют смектит и каолинит. Данные ИК-спектроскопии свидетельствуют, что помимо кальцита (1407 см⁻¹) в образце содержатся следы Mg-содержащего карбоната (1454 см⁻¹). Ниже (гл.450-460 см) среди слоистых силикатов доминирующими уже являются слюда мусковитового типа вместе со смектитом, который по данным калиевого и литиевого тестов представлен низкозарядным минералом бейделлитового типа. По данным ИК- спектроскопии здесь в заметном количестве содержится доломит (1459 см⁻¹) в неокристаллизованной (колломорфной) форме. На глубине 510-520 см в илистой фракции доминирует смектит . Во всех трех образцах содержатся алифатические СН₂-СН₃ группы органического вещества (область 2966-2856 см⁻¹). Таким образом, полученные нами данные по характеру педогенеза в плиоценовых отложениях разреза Удунга существенно дополняют информацию о палеоэкологических условиях формирования данного уникального фаунистического комплекса, единственного в России и не имеющего аналогов в Евразии.

В статье «Горизонты палеопочвоведения» А.О. Макеев и А.В. Русаков отмечали значимость палеопочв с позиции палеонтологии, поскольку, будучи носителем информации об ископаемой экосистеме в целом, они за счет разнообразного набора сохранившихся параметров на качественном и количественном уровне позволяют решать проблему низкого пространственного разрешения палеобиоты.

В случае исследований местонахождения Удунга это проявляется в детализации отдельных этапов функционирования ориктоценоза, в котором, как отмечал Н.П. Калмыков «...стратиграфическое положение многих таксонов фауны млекопитающих...зависит от степени разработки их систематики и геологической изученности...».

УДК 631.42

СПЕЦИФИКА ФИТОЛИТНЫХ АРХИВОВ ПРИ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ

Гольева А.А.

Институт географии РАН, Москва, golyeva@igras.ru

Фитолиты, как биогенные маркеры растительного покрова в прошлом, являются одними из надежных независимых компонентов палеоархивов. Микроскопическая размерность, специфическая морфология и высокая устойчивость в почвах и седиментах разного генезиса обусловили большой интерес к этим частицам у специалистов, занимающихся палеоэкологическими реконструкциями. С одной стороны, это радует, поскольку способствует развитию метода, его совершенствованию. С другой стороны, использование метода без знания его специфики ведет к ошибкам, некорректным интерпретациям получаемых данных и, как итог, дискредитации фитолитного анализа в целом. Наиболее частой причиной возникающих ошибок является непонимание сути фитолитов, как частиц биогенной природы. Фитолиты - кремниевые копии некоторых клеток растений. При огромном разнообразии растительного мира, набор клеток из которых этот мир создан относительно невелик. А количество клеток, внутри которых формируются морфологически специфические частицы аморфного кремнезема составляет не более нескольких десятков. Это значит, что одна и та же форма может образовываться в разных растениях (рисунок 1). То есть можно говорить о полигенетичности одного морфотипа в растительном мире. Например, крестовидная форма (CROSS). Она формируется в листьях ряда растений, таких как просо, кукуруза или змеёвка растопыренная. Одинаковые формы встречаются у тростника, ситника и культурного риса. И подобных примеров можно привести достаточно много.

И наоборот, генетически близкие растения, произрастающие в разных природных зонах, могут формировать морфологически различные виды фитолитов. Иногда появляются статьи, авторы которых автоматически переносят опубликованные базы данных при проведении палеореконструкций в умеренном поясе. Итогом этого является, например, вывод, что в эпоху бронзы в Крыму не росли двудольные растения, поскольку исследователь не встретил формы, которые формируются у двудольных на экваторе. Таким образом, при проведении палеореконструкций на основе фитолитного анализа надо в обязательном порядке учитывать в какой природной зоне формировались исследуемые почвы или различные отложения. Другой спецификой фитолитных комплексов является полиморфизм морфотипов в одном растении. Это связано с тем, что поскольку растения состоят из множества различных клеток, то в них могут формироваться много разнообразных по форме фитолитов. И эти формы, как правило, будут встречаться и в других растениях. То есть нельзя, выделив в образце какой-то один морфотип фитолита, делать вывод о произрастании на этом месте в прошлом какого-то одного конкретного растения. Например, у культурных злаков, кроме проса, формируются специфические, так называемые, дендритные формы (ELONGATE DENDRITIC). Их можно назвать условно диагностическими, поскольку они встречены в листьях и колосе практически всех культурных злаков: овса, ячменя, ржи, всех видов пшеницы, но отсутствуют в дикорастущих злаках умеренного пояса. Таким образом, в фитолитном анализе говорят о растительных сообществах - луговых, лесных, степных, агроценозах и т.п.

При кажущихся достаточно крупными обобщениях, получаемых при использовании фитолиитного анализа, именно подобного рода выводы требуются для палеореконструкций природной среды и характера антропогенной трансформации ландшафтов в прошлом. Таким образом, при использовании фитолиитного анализа для палеореконструкций необходимо опираться на базу данных по фитолиитам той природной зоны, где проводится исследование, по-возможности учитывать историческую основу.

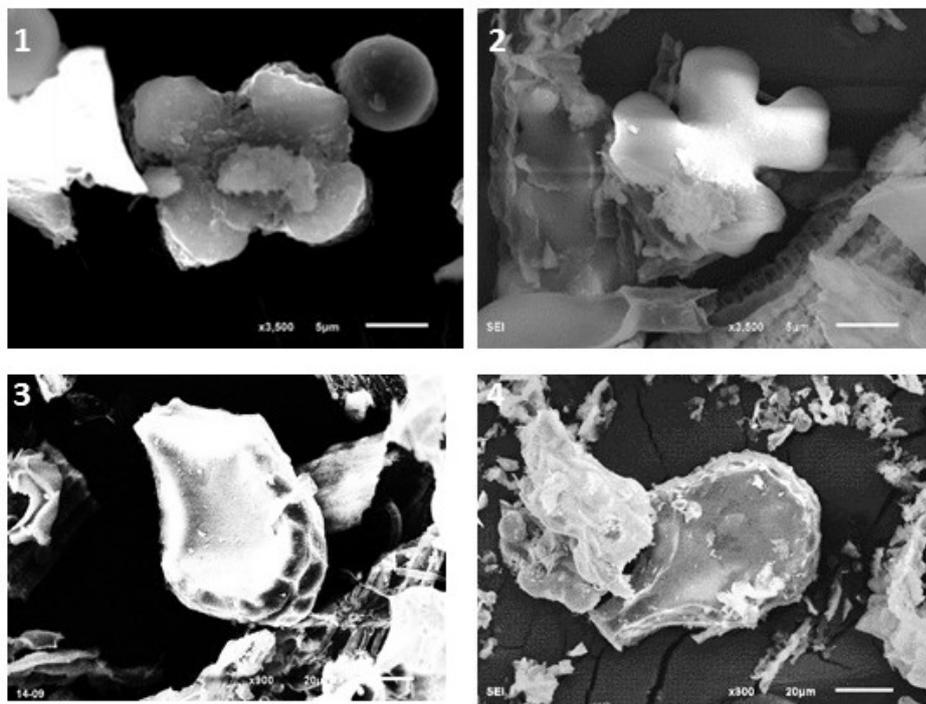


Рисунок 4. Примеры полигенетичности одинаковых морфотипов фитолиитов в растительном мире: 1 - просо; 2 - кукуруза; 3- тростник; 4 - ситник

УДК 631.48

ПОГРЕБЕННЫЕ ПОЧВЫ ПАЛЕОЛИТИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА СУХАЯ МЕЧЁТКА

Ельцов М.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино,
m.v.eltsov@gmail.com

Палеолитическое поселение Сухая Мечётка – один из важнейших памятников среднего палеолита Восточной Европы. Приблизительно 97-110 тыс. лет назад эта территория была заселена неандертальцами, пути миграции которых до сих пор вызывают много вопросов. Мощность разрезов для изучения культурных горизонтов палеолитического поселения достигает 20 метров. В строении разрезов выделяют до 11 основных этапов осадконакопления, но сохранившиеся полноразвитые почвы описаны лишь в основании разреза. Всего диагностировано три погребенные почвы, отражающие этапы потепления стадии МИС 5 и соотносящиеся с ее подстадиями 5e, 5c и 5a, средняя из которых содержит культурный слой.

Изученную почвенно-грунтовую толщу можно разделить на несколько генетических слоев. Современная каштановая среднесуглинистая почва на глубине около 2 метров подстилается песчаными отложениями раннехвалынской трансгрессии Каспия. Ниже залегает мощная легкосуглинистая окарбоначенная толща с большим количеством прослоев среднего и мелкого песка, которая на глубине около 15 метров сменяется среднесуглинистыми мелкослоистыми относительно гумусированными отложениями с серией погребенных почв,

вторая из которых содержит культурный слой. Гранулометрический состав этих отложений характеризуется преобладанием фракции крупной пыли. Ниже толща средних суглинков сменяется слоем аллювиальных песков.

Погребенные почвы памятника представлены аллювиальными гумусовыми синлитогенными почвами сформировавшимся на отложениях палеореки / ручья Сухая Мечётка, впадавшей в эстуарий Волги.

УДК 631.484

ФИТОЛИТНЫЕ И ПАЛЕОЛАНДШАФТНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЮГЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ (МИС17-МИС1)

Калинин П.И.¹, Кудреватых И.Ю.¹, Занина О.Г.¹, Панин П.Г.²

¹Институт Физико-Химических и Биологических Проблем Почвоведения РАН, Пушкино, kalinin331@rambler.ru

²Институт Географии РАН, Москва

Приазовье является важным в палеогеографическом отношении регионом Восточно-Европейской равнины, где лёссово-почвенные серии достигают мощности до нескольких десятков метров, а историю изменения ландшафтов можно проследить вплоть до раннего плейстоцена. Лёссово-почвенные серии Приазовья достаточно хорошо изучены с точки зрения палеогеографии, почвообразования, стратиграфии, литологических особенностей. Но по-прежнему остается много дискуссионных вопросов, касающихся палеоклиматических реконструкций, закономерностей эволюции палеопочв, происхождения и механизмов формирования лёссов.

Объектом исследования был лёссово-почвенный разрез Чумбур-Коса, мощностью 16 м, расположен в южной части Таганрогского залива вблизи одноименного хутора Чумбур-Коса (46°58' с.ш., 39°01' в.д.). Район исследования по климатической классификации Кеппена относится к региону Dfa (континентальный климат с жарким летом).

Целью данной работы было определение палеоклиматических закономерностей формирования лёссово-почвенной серии разреза Чумбур-Коса и оценка возможности использования фитолитного анализа для реконструкции растительности в ледниковые и межледниковые периоды плейстоцена. Для оценки динамики климата изучены геохимические особенности и магнитные свойства лёссов, межледниковых и интерстадиальных палеопочв. По усовершенствованной методике проведено выделение микрофоссилий и выполнен фитолитный анализ.

В результате с помощью фитолитного анализа удалось установить преобладание лугово-разнотравных ассоциаций в межледниковые и более остепненных в ледниковые периоды. В течение плейстоцена происходила направленная смена климата в сторону аридизации, при которой в межледниковые периоды снижалось среднее годовое количество атмосферных осадков (с 600 до 550 мм/год), нарастала ксерофитизация растительных сообществ, снижался уровень биопродуктивности и ландшафтного разнообразия. Из-за поднятия грунтовых вод в межледниковые периоды активизировались локальные процессы гидроморфизма, результатом чего было широкое развитие тростниковых сообществ. В ледниковые периоды среднее годовое количество атмосферных осадков уменьшалось до 200-250 мм/год, а более влаголюбивая часть злаков и тростниковая растительность исчезала.

Несмотря на снижение атмосферной увлажненности и изменения растительных спектров, Приазовье на протяжении всего среднего и позднего плейстоцена оставалось степным регионом. Эволюция почвообразования была направлена в сторону формирования более сухих подтипов, однако природно-климатические зоны лишь незначительно смещались относительно современных границ, демонстрируя устойчивость степных ландшафтов к глобальным климатическим изменениям.

Для лёссовых отложений региона были впервые охарактеризованы фитолитные спектры, выявлены их особенности и возможности использования для решения вопросов эволюции почв и корректировки истории развития территории в плейстоцене. Фитолитные комплексы палеопочв могут являться надежными индикаторами для палеоландшафтной реконструкции природной среды в течение длительного времени. Установлено, что к диагенетическим процессам более чувствительна количественная характеристика фитолитов, в то время как разнообразие морфотипов в большей степени сохраняет различие между ледниковыми и межледниковыми ландшафтами. Геохимические показатели Fe_2O_3/TiO_2 и P_2O_5/TiO_2 также могут быть важными маркерами биологической активности, биопродуктивности и выветривания и хорошо дополняют климатический сигнал, полученный с помощью показателя магнитной восприимчивости и фитолитного анализа. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-27-00145).

УДК 631.46

ПОЧВЕННЫЕ БИОМАРКЕРЫ В ДИАГНОСТИКЕ ДИНАМИКИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Ковалева Н.О., Столпникова Е.М.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, natalia.kovaleva@mail.ru, opallada@yandex.ru

Одной из отличительных особенностей горных ландшафтов является их вертикальная зональность, когда природные зоны сменяют друг друга от подножия к вершине вслед за увеличением на каждые 100 м подъема количества осадков на 50 мм, интенсивности солнечной радиации и уменьшением температур на 0,5 градусов. Однако узость природных зон обуславливает значительную подвижность их границ в условиях изменений климата. Поэтому горные почвы экотонных ландшафтов часто бывают полигенетичны, объединяя в своем онтогенезе не одну стадию почвообразования. В сочетании с активным развитием экзогенных процессов в горах и движением ледников горные почвы записывают в своих профилях сложную историю ландшафтов и являются уникальным континентальным архивом палеоэкологической информации. Почвенные архивы разноуровневых горных стран более многообразны по сравнению с равнинными аналогами, так как на небольших пространствах сосредотачивают все известные (и неизвестные) типы климатов, природных зон и типов поясности, замкнутые горные долины служат рефугиумами исчезнувших с лица равнин видов и экосистем, и, в конечном итоге, природные компоненты гор оказываются более сенсорными к любым внешним воздействиям – климатическим или антропогенным изменениям.

Для диагностики следов палеобиоты и наземной растительности, климатических флуктуаций и изменения направленности и интенсивности почвенных процессов, как показали наши предыдущие исследования, удобно использовать разнообразные почвенные биомаркеры – органические или органоминеральные структуры, длительно сохраняющиеся в почвах и отложениях.

Поэтому целью данного исследования стало сравнительное изучение динамики вертикальных природных зон в плейстоцене- голоцене в горных системах Евразии на примере Северного Тянь-Шаня, Среднего Урала, Северного Кавказа, Крымской гряды. Объектами исследования послужили катены почв, заложенные в различных вертикальных зонах от подножия до вершины склонов:

на северном макросклоне Северного Тянь-Шаня (урочище Чон-Курчак), последовательно вскрывающие темно-каштановые почвы, горный чернозем, коричневые и горно-луговые черноземовидные почвы, горно-луговые субальпийские и горно-луговые альпийские почвы; на северном макросклоне Большого Кавказа (долина Архыз), последовательно вскрывающие горный чернозем, бурые лесные почвы и горно-луговые черноземовидные почвы, горно-луговые субальпийские и горно-луговые альпийские почвы;

на западном макросклоне Среднего Урала (заповедник Басеги), последовательно вскрывающие бурые лесные и субальпийские луговые почвы, подбуры и горно-тундровые почвы;

на южном склоне Главной гряды Крымских гор (Ай-Петринский заповедник), последовательно вскрывающие коричневые красноцветные почвы, бурые лесные и горно-луговые черноземовидные почвы.

Методы исследований включали определение углерода и азота на CNS-анализаторе VARIO EL, Elementar GmbH, Naunau; выделение гуминовых кислот методом Тюрина в модификации Пономаревой, Плотниковой и исследование их оптических свойств на спектрофотометре СФ-18; определение возраста почв радиоуглеродным методом; исследование изотопного состава углерода на масс-спектрометре Thermo-Finnigan Delta V Plus IRMS; определение содержания и идентификация n-алканов - методом газо-жидкостной хроматографии на газовом хроматографе Agilent 6890N (Agilent Technologies, США) с квадрупольным масс-селективным детектором MSD5973N (Agilent Technologies, США) и системой обработки данных ChemStation, MSDChem. Фитолиты отмывались тяжелой жидкостью и исследовались на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6380LA с микрозондовым анализатором с системой энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) ФИАН. В ходе выполненных исследований установлено, что плейстоценовые типы вертикальной зональности, которые были представлены безгумусовыми криоаридными почвами в верхней части склонов и коричневыми - в нижней, диагностируются по строению безароматических гуминовых кислот с высоким пиком липидов, по тяжелому изотопному составу углерода (-12 - -18 ‰). Это были ландшафты, вероятно, без растительности или с растительностью САМ-типа фотосинтеза. Начало голоцена в горах Средней Азии, на Северном Кавказе и на южном склоне Крымских гор отличается распространением растений С-3 типа фотосинтеза с развитой корневой системой и сопровождается формированием сначала гидроморфных, а затем черноземных почв. Судя по тяжелым величинам изотопных отношений (-22 -24 ‰), наличию фитолитов степных растений и n-алканов с длиной цепи 29-31 в буроземах и красноземах, черноземы в среднем голоцене простирались по горным долинам до освободившихся от оледенения вершин. От подножия до вершин склоны Северного Кавказа и Северного Тянь-Шаня были заняты черноземами. На южном склоне Крымских гор черно-коричневые почвы сменялись черноземами. Средний Урал демонстрирует почвенный покров оттаивающей мерзлоты: горные долины, как следует из величин изотопных отношений, заняты глееземами, склоны – вероятно, литоземами, судя по профилям щебнистости этих почв. Распространение бурых лесных почв во всех горных системах укладывается во временные рамки голоцена. Они занимают горные склоны теплого южного склона Крымской гряды в середине голоцена (радиоуглеродный возраст) и склоны Кавказа чуть позже – в позднем голоцене. К середине первого тысячелетия нашей эры на высотах около 1000-2000 м буроземы сформировались под лесом на склонах, ранее покрытых травянистой растительностью предыдущих эпох на Кавказе и в Крыму. Изотопный состав органического углерода в них демонстрирует наиболее легкие значения изотопного отношения в верхних горизонтах профилей – до -26,96 ‰ и более тяжелые величины – в средних частях профилей – до -24,68 ‰. И, если низкие величины $\delta^{13}\text{C}$ характерны для гумидных условий малого ледникового периода, то последнее высокое значение нетипично для древесных биомов, а характеризует, скорее, более аридные условия остепненных лугов с большой долей С4 растений. Коэффициент корреляции величин $\delta^{13}\text{C}$ и величин магнитной восприимчивости составляет -0,81. Следы более аридных этапов дернового почвообразования стерты морфохроматическими признаками ожелезнения и сохранились лишь в молекулярных биомаркерах гумуса. На Среднем Урале почвы гидроморфного ряда уступают свои позиции на склонах бурым лесным почвам под пологом лесов. В горах Средней Азии субтропический можжевельниковый лес осваивает коричневые почвы. Дальнейшая эволюция бурых лесных почв прерывалась похолоданием малого ледникового периода и наступанием субальпийского луга

на лес, а граница леса, скорее всего, опускалась ниже ее современного положения. Современная вертикальная зональность в горах Евразии установилась, таким образом в позднем голоцене и была скорректирована средневековым климатическим оптимумом и похолоданием малого ледникового периода. Признаки теплого «архызского перерыва» в оледенении горных вершин прослеживаются в строении гуминовых кислот, содержании алканов травяного происхождения, утяжелении изотопных отношений в профилях черноземовидных почв под лесом и под современными субальпийскими лугами. Черноземы вновь распространились по горным долинам, на склонах сохранялись леса, по морфологическим свойствам и свойствам биомаркеров фиксируется лишь повышение их нижних границ. Субальпийские и альпийские горно-луговые почвы формируются лишь после наступаний ледников малого ледникового периода, их возраст не превышает 350-450 лет во всех горных системах. Исключением являются крымские яйлы, сохранившие черноземный почвенный покров ввиду отсутствия оледенения вершин Крымской гряды. Из-за наложения луговых процессов на профиль чернозема, почвы яйл диагностируются как черноземовидные, а все вертикальные пояса сместились на 100 м вниз. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ (№ 122011800459-3).

УДК 631.48

ФЕНОМЕН КРИОМОРФНЫХ ПОЧВ В СТЕПЯХ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Ковда И.В.¹, Поляков Д.Г.², Рябуха А.Г.²

¹ ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, ikovda@mail.ru;

² ОФИЦ УрО РАН

Оренбургская область занимает юго-восточную окраину Восточно-Европейской равнины, южные отроги Уральских гор и частично Зауральское и Тургайское плато. Территория характеризуется быстрой сменой и большим разнообразием природных условий, сочетая разнообразные формы рельефа, лесостепную и степную растительность, пестроту почвообразующих пород. При этом территория характеризуется континентальным климатом с нарастающими с северо-запада на юго-восток области летним иссушением, зимним усилением продолжительности и интенсивности морозов и промерзанием почв.

Итогом такого разнообразия факторов почвообразования является пестрота и своеобразие почв, а также сложная структура почвенного покрова.

Несмотря на то, что на прилегающих территориях Восточно-Европейской равнины и Казахстана распространение реликтовых криогенных образований в виде остаточного реликтового-криогенного микрорельефа и псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам хорошо известно благодаря работам Величко А.А., Гугалинской Л.А. и Алифанова В.М., Макеева А.О., Горбунова А.П. и др., для территории Оренбургской области подобные явления отмечались в основном в геологических работах. Еще более удивительным является то, что при достаточной изученности почв (Ерохина А.А., Климентьев А.И., Блохин Е.В. Русанов А.М. и др) и даже в Красной книге уникальных почв Оренбургской области, до 2018 года сведения о выраженности криогенных признаках и криоморфных почвах в Оренбургской области не отмечались. Тем более не было информации о том, что криоморфные почвы могут быть представлены в современном почвенном покрове вне криолитозоны.

Наши систематические исследования в рамках выполнения проекта «Позднеплейстоценовая криолитозона и ее роль в формировании ландшафтов степной зоны Заволжско-Уральского региона» показали, что этот регион является не только связующим транзитным звеном, соединяющим воедино позднеплейстоценовые зоны Восточно-Европейской равнины и Казахстана, но и обеспечивает уникальные условия для сохранения и поддержания палеокриогенного наследия в современном почвенном покрове.

Исследования проводились преимущественно в южной и юго-восточной части Оренбургской области на объектах с выраженным микрорельефом различного типа (полигонально-блочный, полигонально-бугристый, тетрагональные туфуры, округлые бугры), сформированном на различных почвообразующих породах (меловые отложения, пестроцветные глинистые коры выветривания, четвертичные суглинки), в зоне распространения черноземов и каштановых почв. Всего обследовано более 50 подобных локализаций. Изучение микрорельефа в траншеях показало наличие в почвах следов существования полигонально-жильных льдов, проявляющихся в грунтовых клиньях-псевдоморфозах, инволюций и криотурбаций, плитчатой структуры с увеличивающейся толщиной плиток с глубиной, что свидетельствует об их палеокриогенном генезисе и существовании многолетней мерзлоты. Однако, по сравнению с аналогичными объектами на Восточно-Европейской равнине, в наших объектах исследования палеомерзлотные признаки выражены более ярко: микрорельеф достигает 30 и более см, внутрипочвенные криоморфные признаки диагностируются с дневной поверхности как на макро-, так и на микроуровне. В итоге установлено, что некоторые степные почвы внемерзлотной зоны в Оренбургской области имеют сходный облик со степными почвами современной криолитозоны, например, Якутии и Бурятии.



Рисунок: Примеры криоморфных признаков в степных почвах Оренбургской области. Мы объясняем выраженный криоморфизм изученных современных почв рядом факторов. Отчасти сохранность криогенных признаков может объясняться тем, что консервация реликтовых признаков является отличительной чертой аридного почвообразования. Кроме того, современные условия характеризуются суровыми зимами с возможным глубоким промерзанием почв. При наличии определенных условий увлажнения это приводит к формированию в почвах ледяных шлиров, а также способствует процессам пучения, поддерживающим микрорельеф. В почвенном профиле при этом наблюдается формирование специфического горизонта, который мы предложили называть криоструктурнометаморфическим.

Таким образом изученные нами объекты представляют собой дневные палеопочвы в которых ряд криоморфных признаков является реликтовыми, а некоторые поддерживаются и обновляются современными криогенными процессами, реализация которых возможна именно при сочетании особых локальных условий увлажнения почв, специфических почвообразующих пород и специфики климата Оренбургской области - континентальности климата с быстрым и интенсивным промерзанием почв.

УДК 631.46

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Курасова А.О.¹, Константинов А.О.¹, Лойко С.В.², Балужева Ю.В.³, Коноваленко М.В.³, Кулижский С.П.²

¹Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, kurasovalina@gmail.com

²Томский государственный университет, г. Томск, Россия

³ООО «НПО «Северная археология-1», Нефтеюганск, Россия

Хозяйственная деятельность древнего населения является одним из вероятных факторов интенсивной трансформации ландшафтов таежной зоны Западной Сибири в голоцене. Следует отметить, что исследования, посвященные характеру и особенностям природно-антропогенного развития обширной бореальной части Западной Сибири в целом ограничены и редко отличаются комплексностью и мультидисциплинарным характером, особенно в контексте почвенного покрова. Преобладающая доля материалов по динамике ландшафтов рассматриваемой территории в голоцене, связанных с изучением природных палеогеографических архивов и археологических памятников, приходится на южную часть региона. С одной стороны, такое положение связано со сравнительно коротким периодом освоением Западной Сибири, с другой - особенностями рельефа и ландшафтов, характерных для центральной и северной частей низменности. Большая часть территории Западной Сибири характеризуется низменным слаборасчлененным рельефом, что, естественно, способствует ее интенсивному заболачиванию и широкому распространению органогенных торфяных почв. В этой связи является совершенно логичным, изучение колонок торфяников и донных отложений водоемов являются основными источниками информации о динамике природной среды в пределах центральных районов Западной Сибири, в то время как потенциал минеральных почв и педоседиментов как палеоархива в контексте восстановления условий, существовавших в голоцене, остается практически не реализованным. В условиях, когда обнаружение и изучение погребенных почв затруднены, комплексные палеопочвенные исследования археологических памятников становятся особенно важными. Они позволяют значительно расширить масштаб и детализацию исследований, а также привлечь большой массив данных. Однако, несмотря на актуальность использования почвенных методов в археологии для таежной зоны Западной Сибири, примеры таких работ встречаются редко и обычно не затрагивают объекты, относящиеся к периодам древнее железного века. В результате комплексных почвенно-геоархеологических исследований селища Большой Салым 4, расположенного на правом берегу реки Салым в центральной части Западно-Сибирской равнины, было установлено, что большая часть территории, изученная археологическими раскопками, покрыта эоловыми песчаными наносами, под которыми находятся полигональные палеокриогенные структуры, заполненные материалом позднеплейстоценовых – раннеголоценовых палеопочв. На некоторых участках этих структур обнаружено большое количество каменных орудий и отходов производства мезолитического облика. Культурный слой селища Большой Салым 4 отличается высокой степенью вариабельности, что связано с его различным гранулометрическим составом в пределах памятника. Таким образом, стратиграфия селища Большой Салым 4 и возможности ее интерпретации осложняются двучленностью отложений, наличием сильно измененного культурного слоя, содержащего артефакты, и реликты раннеголоценовых почв, подвергшихся воздействию палеокриогенных процессов. Точная датировка, уточнение генезиса криогенных структур, заполненных материалом позднеплейстоценовых-раннеголоценовых палеопочв, позволят на качественно ином уровне взглянуть на связь между изменениями природной среды и условиями существования древнего мезолитического населения.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ 23-77-10012

УДК 631.46

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА КОСТЕНКИ-17 НА ОСНОВЕ ЛИТОЛОГО-ПОЧВЕННОГО АНАЛИЗА

Курбанова Ф.Г.¹, Константинов Е.А.¹, Манакова О.И.², Бессуднов А.А.³

¹Институт географии РАН, Москва, fatima.kurbanova@igras.ru, eakonst@igras.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, oliamanakova@yandex.ru

³Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург, bessudnov_a22@mail.ru

Костенковский археологический комплекс состоит из крупнейшей в Восточной Европе группы верхнепалеолитических памятников. Одним из наиболее представительных в отношении мощности почвенно-осадочной летописи является памятник Костенки-17. Высокая мощность отложений позволяет рассчитывать на более подробную запись изменения природной обстановки в интервале последних ~ 40 тыс. лет.

Однако, склоновое смещение является самым распространенным типом нарушения культурного слоя в Костёнках. Смещение могло происходить как в процессе обитания людей, так и после прекращения существования памятников – в результате плоскостного смыва или других склоновых процессов. Интенсивность склоновых процессов на памятниках Костёнковской группы являются предметом многолетних дискуссий (Величко с соавт., 1963, 2009, Лазуков, 1957, Седов с соавт., 2010, 2022, Бессуднов с соавт., 2021, 2022, Коркка с соавт., 2017, Sinitsyn et al., 2017). До сих пор остаются нерешенными вопросы о том, отражают ли уровни почвообразования в покровной толще различные периоды потеплений или являются результатом неоднократного смыва одной почвы (Holiday et al., 2007, Бессуднов, 2022, Седов с соавт., 2010, 2022). Помимо этого, ведется дискуссия о генезисе горизонтов верхней гумусовой толщи (ВГТ), наличии криогенных процессов или признаков сезонного промерзания-оттаивания в Костёнковской толще.

В то же время реконструкция палеоландшафтов Костенковского комплекса памятников ранней поры позднего палеолита имеет особое значение для познания этапов истории первобытного общества в целом (Velichko et al., 2009).

Нами была проведена попытка проанализировать толщу с помощью широкого набора почвенно-литологических методов и выявить сигналы, связанные с почвенными, склоновыми, эоловыми процессами. Основной задачей исследования является разделение локальных склоновых процессов от региональных климатических сигналов. Для того, чтобы выявить факторы, влиявшие на формирование отдельных участков данной толщи, был применен многомерный статистический анализ (метод главных компонент).

Впервые для стоянки Костенки-17 были выполнены комплексные почвенно-литологические анализы с высоким разрешением - через каждые 5 см в толще разреза, глубина которого составляет 6 метров. Основным подходом для выполнения исследования является комплексный почвенно-литологический анализ. Он нацелен на установление закономерностей формирования свойств и состава литогенной основы опорных разрезов плейстоцена, которая служит важнейшим, а порой единственным, источником информации о природной обстановке прошлого. Проведены следующие анализы: определение химического состава вещества (РФА), анализ гранулометрического состава, измерение спектральных характеристик отложений (колориметрия), последовательное определение потерь при прокаливании (ППП) и измерение удельной магнитной восприимчивости. Также проведено детальное морфологическое описание толщи отложений и анализ особенностей микростроения горизонтов, которые были выделены на полевом этапе.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы. Основным изменчивым фактором в толще памятника Костенки 17 являются литогенные карбонаты. Анализ их микростроения показал, что литогенные карбонаты, представленные меловой крошкой, в течение формирования толщи имели микропризнаки перекристаллизации с образованием вторичных карбонатных новообразований.

Наличие мерзлотного клина криогенного происхождения указывает на то, что в пределах памятника Костенки-17, начиная с верхней гумусовой толщи, имели место криогенные процессы. С высокой вероятностью можно сказать о том, что процессы солифлюкции могли проходить во время формирования верхней гумусовой толщи, трансформируя и смещая гумусовые слои, что отразилось в характере залегания данных горизонтов. Несмотря на это, вероятно, после смещения гумусовых горизонтов происходило также постседиментационное почвообразование *in situ*.

Из всех химико-физических показателей, методом главных компонент (МГК) были определены те, что вносят максимальный вклад в главные компоненты (ГК) 1 и 2. Так, ГК 1, характеризующая почвообразование, позволяет выделить два фактора, влияющих на формирование толщи: педогенез и аккумуляцию преимущественно литогенных карбонатов. ГК 2 характеризует третий фактор – флювиальные процессы, также воздействующие на изменение свойств осадка. Все эти три фактора действуют постоянно, но имеют различную интенсивность, в ходе развития толщи их вклад изменялся.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 24-77-10054.

УДК 631.4

МИКРОБИОМОРФЫ АГРОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ

Лада Н.Ю.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, n.lada@issa-siberia.ru

Расширение представлений о почве как базовом элементе сельскохозяйственных экосистем обуславливает повышенную актуальность исследований закономерностей их антропогенной трансформации. Исходя из этого, особое значение приобретает разработка целостной концепции диагностики и оценки антропогенной динамики экологического состояния почвенного покрова не только по показателям физико-химических, физических и агрохимических свойств, но и по индикационным биологическим свойствам почв. Часто они являются наиболее динамичными и интегральными показателями, позволяя проводить раннюю диагностику любых изменений окружающей среды. Достоверность результатов почвенных исследований и основанных на них реконструкций состояния природной среды определяется, прежде всего, точностью диагностики почв. А.А. Гольевой доказано, что микробиоморфные профили различных природных зон имеют отличия по мощности и степени выраженности. В том числе в черноземах много фитолитов в его верхнем гумусовом горизонте.

В связи с вышеизложенным в настоящем исследовании ставилась задача выявить особенности фитолитных профилей средневековых (50 лет) черноземных дисперсно-карбонатных почв с разной степенью агрогенной нагрузки.

Черноземный тип почвообразования в Северной Кулунде приводит к развитию южных и обыкновенных черноземов, приуроченных к гривам. Чернозёмы формируются под воздействием многолетней травянистой растительности в условиях непромывного водного режима. Они являются основным объектом сельскохозяйственного использования в Западной Сибири.

Чернозёмы южные умеренно и длительно-промерзающие по «Классификации и диагностике почв СССР» соответствуют дисперсно-карбонатному подтипу в типе чернозёмов и агрочернозёмов «Классификации и диагностики почв России».

Исследуемая территория находится на юге Баган-Карасукской озерно-аллювиальной равнины в пределах Обь-Иртышского междуречья. Рельеф территории представляет собой чередование грив и межгривных понижений, сложенных комплексами солонцов, солонцеватых черноземов, лугово-черноземных почв. Растительный покров представлен разнотравно-злаковыми настоящими степями с вкраплением осиново-березовых колков.

Сравнительная характеристика описания разрезов дисперсно-карбонатного, дисперсно-карбонатного постагрогенного черноземов и агрочернозема, показывает их близость по мощности гумусовых горизонтов, уровням накопления гумуса, глубокому залеганию карбонатных горизонтов, высоким значениям реакции среды карбонатных горизонтов, грансоставу, количественным показателям содержания обменных оснований, имеют одинаковую окраску и близкую консистенцию, а также языковатость границы перехода в текстурно-карбонатный горизонт и других характеристик.

Согласно микробиоморфному составу чернозема дисперсно-карбонатного, установлено, что наибольшим разнообразием и количеством биолитов отличается верхние три сантиметра гумусового горизонта. Вниз по профилю их количество постепенно сокращается (рис. 1.3). Общее содержание микробиоморф агрочернозема дисперсно-карбонатного постагрогенного верхних трех сантиметров составляет 200 зерен (рис. 1.2). В нижней части гумусового горизонта сумма фитоцитов возрастает, достигая максимума на глубине 15 см. Вниз по профилю наблюдается снижение количества микробиоморф. По морфологическому описанию профиля почвы следы пахотного горизонта не обнаружены.

Разрез, вскрытый на пахотном поле согласно морфологическому описанию, также представляет собой агрочернозем дисперсно-карбонатный. По микробиоморфным данным выявлено два пика распределения фитоцитов (рис. 1.1). С глубиной содержание фитоцитов постепенно возрастает и достигает максимума на глубине 15 см. Затем вниз по профилю содержание фитоцитов сокращается в два раза. Данное распределение идентифицирует подпашную подошву. Обнаружены кутикулярные слепки растений, пыльца и споры, что является свидетельством поверхностного горизонта. Второй максимум фитоцитов фиксируется на глубине 25 см.

По всему профилю отмечается преобладание крупных форм фитоцитов, что свидетельствует о благоприятных условиях роста растительности их продуцирующих.

Таким образом, проведенные исследования количественных и качественных характеристик фитоцитного состава черноземных почв юга Западной Сибири показали следующее.

1. Фитоцитный профиль дисперсно-карбонатного агрочернозема, вскрытом на пахотном поле, образует два пика распределения микробиоморф, что говорит о периодическом распаивании почвы.

2. По морфологическому описанию профиля агрогенно-преобразованного дисперсно-карбонатного чернозема с восстановленной степной растительностью под пастбищной нагрузкой могла считаться целинной, но скопление биоморф в нижней части гумусового горизонта позволило определить его агрогенное использование.

3. Распределение фитоцитов в профиле целинного дисперсно-карбонатного чернозема имеет аккумулятивное распределение с равномерным уменьшением вниз по профилю.

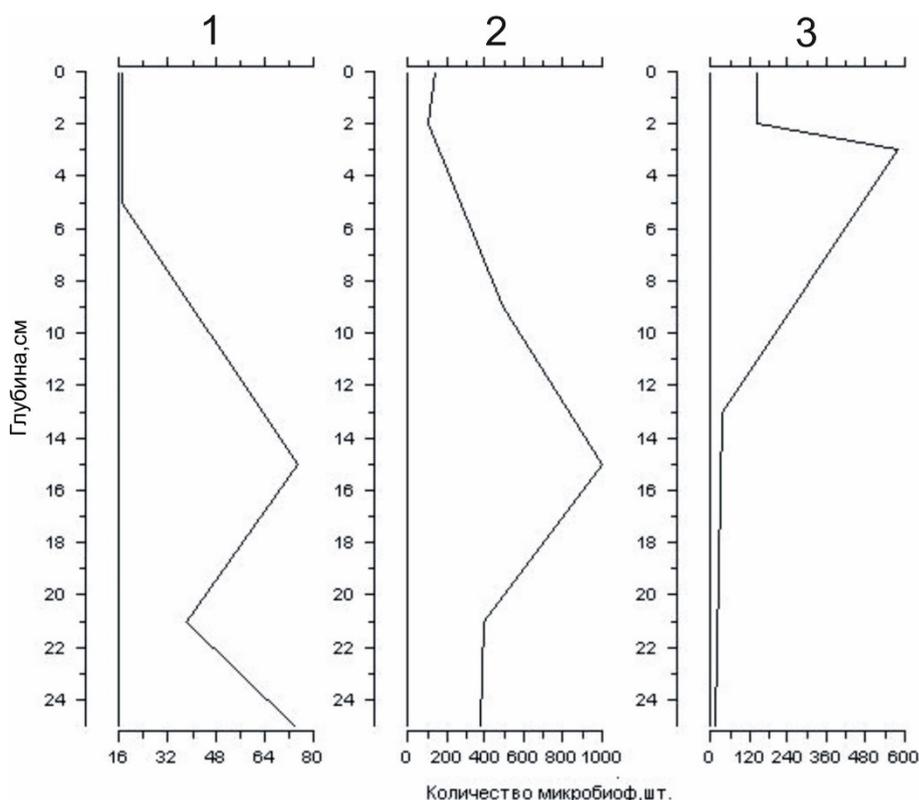


Рис. 1. Количественное распределение фитоцитов в гумусовом горизонте почв
 1 – агрочернозем дисперсно-карбонатный (пашня), 2 – агрочернозем дисперсно-карбонатный постагрогенный (пастбище), 3– чернозем дисперсно-карбонатный

УДК 631.42

ПАЛЕОПОЧВЫ КАК МАРКЕРЫ ИЗМЕНЕНИЙ УСЛОВИЙ ОСАДКОАКОПЛЕНИЯ В ДОЛИНЕ СРЕДНЕЙ ДЕСНЫ НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕПАЛЕОЛИТИЧЕСКОЙ СТОЯНКИ ХОТЫЛЁВО I

Лазарева М.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, lazarevamn2001@mail.ru

Представленная работа направлена на анализ характера динамики осадконакопления верхнего бассейна р. Десны в позднем плейстоцене по материалам изучения лессово-палеопочвенной серии в разрезе, заложенном на территории археологического памятника Хотылёво I. Уникальность этого разреза заключается в том, что он расположен на одном из самых северных среднепалеолитических комплексов в Восточной Европе, а вскрытые здесь рыхлые отложения вмещают следы пребывания древнего (вероятно, неандертальского) человека. Стоянка расположена в Брянской области на правом борту долины Десны (примерно в 18 км от города Брянска) и датируется возрастом около 85 тыс. лет. Важность ее изучения связана с возможностью детализации и уточнения представлений о характере взаимосвязи этапов эволюции природной среды с периодами заселения Восточно-Европейской равнины человеком в эпоху последнего плейстоценового оледенения. В более ранних исследованиях для данного разреза была определена стратиграфия, выделены почвенные уровни, дано их морфологическое описание. Актуальность же нашей работы обусловлена возможностью охарактеризовать и уточнить их положения на основе проведенного литологического анализа, включающего определение потери при прокаливании, цветовых параметров, содержания карбонатов, величин магнитной восприимчивости, а также гранулометрического состава. Все измерения выполнены в

лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН. Общая мощность детально изученной толщи составляет 19,4 метра. Отбор образцов проводили через каждые 10 см.

В последовательности отложений были выделены почвенные уровни временных интервалов MIS 5c, MIS 5b, MIS 5a, MIS 3 (Брянский педокомплекс) и голоценовый профиль почвы. Классификация почв дана по IUSS Working Group WRB (2022).

Почвы MIS 5, вскрытые на глубине 18-19 м, слабо дифференцированы. Нижний педоуровень (MIS 5c) характеризуется оливковыми тонами окраски; его верхняя часть (10-15 см) имеет желтовато-коричневый оттенок. Общая мощность составляет около 70 см. По результатам гранулометрического анализа толщина представлена фракцией среднего песка (250-500 мкм, содержание от 12% до 44%). Встречаются крупные обломки карбонатов. На данном уровне отмечаются наиболее ранние для Хотылёво I находки остатков деятельности человека (о чём свидетельствует обилие кремневого материала и серия изделий). Учитывая признаки периодического затопления исследуемой толщи и принимая во внимание тот факт, что среднепалеолитические стоянки располагались, как правило, в непосредственной близости от реки, можно предположительно отнести выделенные почвы к слабо развитым Fluvisols. Выше в литологической колонке вскрыты озерно-аллювиальная (MIS 5b, 12-18 м) и аллювиальная (MIS 5a-5b, 9-12 м) пачки. На глубине 6,5-8,9 м от поверхности их перекрывают отложения, относящиеся к MIS 3 и содержащие несколько почвенных уровней (Брянский педокомплекс). Верхний представлен погребенной почвой с выраженными гумусовым и карбонатным горизонтами. Общая мощность профиля составляет 65-70 см. Средний почвенный уровень (около 45 см) характеризуется более темным гумусовым и серовато-бурым горизонтами, в которых выделяются кротовины и солифлюкционные структуры. Нижний уровень имеет практически черный гумусированный слой (~18 см) с прослоями углистого цвета, в котором попадаются угольки. Выделена небольшая криогенная структура, заполненная материалом гумусового горизонта. Ниже залегает бурый горизонт со слабыми признаками оглеения. Общая мощность профиля достигает 1 м. Вся толщина MIS 3, характеризуется высоким содержанием илистой фракции (14%-30%). Для среднего и верхнего почвенного уровней получены пики магнитной восприимчивости: $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$ и $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$ соответственно. Величина ППП 550⁰ для гумусовых горизонтов имеет следующие значения (сверху-вниз): 4%, 2,4% и 3,1%. Для карбонатных горизонтов наблюдается накопление CaCO₃ (максимальное значение составляет 12,7%). Современным аналогом нижнего почвенного профиля названы Cambic Cryosols, формирующиеся в криоаридных условиях в Якутии.

Брянский педокомплекс перекрыт мощной (5,4 м) толщей лесса с эфемерными уровнями почвообразования. Для него характерно преобладание гранулометрической фракции алеврита (4-63 мкм, 53,5%-79,7%). Слоистость в верхней части этой пачки (на глубине 1-2,2 м) может интерпретироваться как результат делювиального процесса. Вся рассматриваемая лессово-палеопочвенная серия характеризуется слабым накоплением органики (ППП 550⁰ от 0,9% до 1,97%), а также аккумуляцией карбонатов (значения CaCO₃ лежат в диапазоне 2,5%-8%). В верхней части лессовой толщи сформирован профиль агрогенной поверхностной почвы (Luvisol) с темно-серыми пахотным и гумусовым горизонтами.

Итак, изученная последовательность отложений, перекрывающая палеолитическую стоянку Хотылёво I, свидетельствует о сложном режиме седиментации в верхнем плейстоцене, с чередованием субаэрального и флювиального осадконакопления. Почвенные уровни фиксируют этапы замедления процессов седиментации в ландшафтно-климатической обстановке ранне- и средневалдайского криохрона. Данные о положении палеопочв и геологических слоёв важны для корреляции стратиграфического строения стоянки Хотылёво I с другими памятниками Верхней Десны, такими как Бетово, Коршево I и II и др. Работы в этом направлении проводятся в настоящее время.

КАРБОНАТНЫЕ КОРЫ ЛЕССОВО-ПОЧВЕННОЙ СЕРИИ ПАМИРО-АЛАЯ

Ломов С.П.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, e- mail:
stas_lomov@mail.ru

Памир и прилегающие хребты Алая, самая высокая горная система Центральной Азии, которая в период поздне-плиоцен-четвертичного времени является основным источником воды для предгорных равнин, включая- Туранскую. Крупные реки «выносили» большое количество терригенных материалов, которые в аридных условиях, подвергались дефляционным процессам, с образованием песчаных пустынь Кызылкумов и Каракумов, а пылеватые частицы переносились за пределы области дефляции и оседали в предгорных и горных долинах, обуславливая формирование лессовых толщ, общей мощностью более 200 метров. Лессовые горизонты разделялись ископаемыми почвами, определяя таким образом, цикличность климата: -похолодание и потепление.

Форма карбонатных отложений в лессах и ископаемых почвах представляет собой видимое отражение гидротермических режимов лессообразования, а также процессов почвообразования, отражающих условия как гляциальных, так и интергляциальных периодов. Расшифровка изменения гидротермического режима, при смене процессов лессообразования и генезиса ископаемых почв, должна быть главной задачей геохимических исследований. В регионе Памиро -Алая (Область Древнего Средиземноморья), наряду с описанными разнообразными формами карбонатных отложений в лессах, выявлены существенные отличия форм залегания карбонатной коры в нижней части ископаемых почв. Отличия заключаются в расположении изученных форм карбонатных кор в основании развития начальных стадий почвообразования.

Карбонатные формы (тип кор и другие карбонатные образования) выявлены в регионах семиаридного климата. Они были описаны большим количеством ученых, в частности в Магрибе, где карбонатные коры наиболее развиты. Первые попытки объяснения происхождения карбонатных кор носили «испарительное» направление за счет подъема солевых растворов по капиллярам и отложения их на поверхности после испарения. Вторая гипотеза была заимствована из работ К.Д. Глинки, которая объясняет выщелачивание карбонатов из горизонта А и накопление их в горизонтах V_{ca} или S_{ca} . Однако мощность карбонатных отложений оказалась вдвое больше, чем сама почва, что позволило французским ученым обосновать новую идею о латеральном привносе карбонатов, то есть за счет бокового подпитывания почвенных растворов, обогащенных карбонатами. При этом датирование карбонатов по ^{14}C выявило аномалию - увеличение их возраста с глубиной. В этом случае седиментационная гипотеза Буркарта, на примере образования карбонатных кор в Марокко, в виде озерных карбонатных аккумуляций, за счет быстрого испарения воды при активизации альгофлоры и бактерий, была поддержана Дюраном и другими учеными. В Северной Африке карбонатные коры изучены автором в пределах Высоких плато, окруженных хребтами: на севере Тель – Атласом, на юге Сахарским Атласом (с высотами до 1500 и 1600 м над у. м). В пределах Высоких плато выделяется три уровня террасовидных уступов. Современный уровень образования солей характерен для днища Шотта-Шерги и определяется актуальной гидрогенно-твердофазной стадией аккумуляции, с процессами активного соленакопления, за счет испарения грунтовых вод и привноса эоловых осадков и отложений временных водотоков (высота 980 м над у. м.). Второй уровень тектонического сброса представлен массивами Даг Зрагет и Фаед эр Рмель, расположенный выше днища Шотта-Шерги на 22 м, и за счет этого хорошо дренирован. После завершения озерно-болотной стадии осадконакопления и дренирования, гидроморфизм карбонатных аккумуляций приобретал автоморфное развитие с явлениями дефляционных и водно-эрозионных процессов, а также миграцией растворимых солей в нижние горизонты. При

этом, карбонатные отложения озерного типа прошли стадию индивидуализации, постепенно преобразующие осадочные отложения в плотные карбонатные коры.

Первый уровень озерного осадконакопления, совпадающий по времени с поздним плиоценом и началом эоплейстоцена, приподнят над вторым на 17 м. Озерно-болотные карбонатные отложения здесь максимально консолидированы в плотные карбонатные коры до 1,0-1,5 м толщины. Они повсеместно бронируют современные поверхности от дальнейших процессов дефляции и эрозии. Микроморфологические исследования карбонатных кор в Северной Африке осуществлялись Т. Vogt. При этом, также уделялось большое внимание изучению геоморфологических позиций для определения возраста карбонатных отложений, макро и микроморфологическому изучению различных типов карбонатных кор, выявлению степени диагенеза и выветривания. Исключительное внимание уделялось определению степени «зональности» карбонатных кор. Впервые этот термин использовал Gocher, который придерживался испарительной гипотезы, и образование карбонатных кор, в этом случае, относил к зональным. Такого же мнения придерживались Кок и Рюэллан. Позднее Дюран сформулировал определение типа «зональных» кор: -аккумуляции карбонатов очень плотные, с горизонтальным слоистым сложением светлых и окрашенных прослоек без видимых примесей (гумуса, глины, оксидов марганца и других), отражающих условия семиаридного климата.

Приуроченность карбонатных кор к ископаемым почвам в регионе Памиро-Алая (Область Древнего Средиземноморья) к самым нижним горизонтам начальных стадий почвообразования, свидетельствует о кардинальных отличиях их от средиземноморских аналогов. Отличия заключаются в сути определения «зональности» карбонатных кор, предложенной Т. Vogt: -«это поверхностно залегающие карбонатные образования, плотные, слоистые, с высоким содержанием CaCO₃ (до 90%), формирующиеся на субстратах различного происхождения и характеризующие семиаридный климат». Во – первых, в регионе Памиро–Алая форма залегания карбонатной коры не поверхностная. Во – вторых, её происхождение почти исключает признаки автоморфности (необходимые условия зональности). И последнее, формирование карбонатных кор в лессово-почвенной серии Памиро-Алая изначально гидроморфное.

В результате потепления и таяния снега- холодная вода, насыщенная диоксидом углерода (за счет высокой растворимости CO₂ в воде, табл.1), и впоследствии обогащенная

Таблица 1. Растворимость газов в воде, см³/л

Газы	Температура, °С		
	5	20	30
Воздух	0,25	0,19	0,16
CO ₂	14,24	8,78	6,65
O ₂	0,43	0,31	0,26

карбонатами (результат растворения карбонатов из различных пород, за счет эффекта «слизывания или таяния», с помощью образованной угольной кислоты в воде), стекала в понижения, в так называемые «области лессонакопления», где карбонаты выпадали в осадок в условиях геохимического барьера при контакте с лессовым покровом. Далее, согласно концепции Рюэллана, карбонатный осадок постепенно эволюционировал в плотную карбонатную кору, на которой затем формировались зональные почвы, отражающие оптимальные климатические условия интергляциального периода.

В результате, синхронный почвообразованию (по Соколову И.А.) субэзральный литогенез, максимально выраженный в периоды лессонакопления, периодически сменялся бассейновыми условиями ранних стадий почвообразования и формирования карбонатного горизонта с последующей эволюцией его в плотные карбонатные коры. Подобная интерпретация образования карбонатных кор в лессово-почвенной серии Памиро-Алая,

позволяет более точно датировать начало периодов потепления в каждом отдельном случае, а также диагностировать стадии почвообразования в пределах сложных педокомплексов.

УДК 631.487 (571.63)

СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОЙ АНАЛИЗ ПОЧВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛАНДШАФТОВ ОСТРОВОВ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО В ГОЛОЦЕНЕ

Лящевская М.С., Пшеничникова Н.Ф., Ганзей К.С., Киселёва А.Г., Родникова И.М.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: n.f.p@mail.ru

Проведены геоботанические, почвенные и палеогеографические исследования на островах залива Петра Великого (ЗПВ) – Русский, Попова, Рикорда, Рейнеке, Шкота и на малых островах – Моисеева, Пахтусова и Желтухина, расположенных вблизи о-ва Рикорда. Показано, что на островах ЗПВ наиболее широко распространен ряд буроземов: буроземы типичные (O-AУ-AУВМ-ВМ-ВМС) под малотравяными широколиственными лесами, буроземы темные (O-AU-AUBM-ВМ-ВМС) под изреженными дубняками с хорошо развитым травяным покровом, буроземы темные иллювиально-гумусовые (O-AU-AUBM_{hi}-ВМ_{hi}-ВМС) с глубокой гумусированностью профиля под травяно-кустарниковыми группировками и буроземы оподзоленные (O-AУ-AУЕL-ВМ-ВМС) под хвойно-широколиственными лесами. Результаты спорово-пыльцевого анализа генетических горизонтов почвенных разрезов: 2-14 (о-в Желтухина), 4-14 (о-в Моисеева), 6-14 и 7-14 (о-в Большой Пахтусова), 25-14 (о-в Центральный Пахтусова) и полученные радиоуглеродные даты (6310 ± 210 ^{14}C л.н.; 2280 ± 280 ^{14}C л.н.; 1630 ± 90 ^{14}C л.н.) позволили выполнить реконструкцию ландшафтов этих островов при климатических изменениях в голоцене и провести сравнение с другими ранее изученными островами ЗПВ.

В предбореале и раннем бореале климат был холоднее современного. Но уже в среднем бореале (9,3-10,0 ^{14}C тыс. л.н.) наступают оптимальные климатические условия. По литературным данным медленный подъем уровня моря в результате послеледниковой трансгрессии привел к затоплению прибрежной суши и образованию около 8,0-10,0 ^{14}C тыс. л.н. островов в ЗПВ. Прибрежные низменности покрывали заболоченные луга с восковницей войлочной (*Myrica tomentosa*) и ольхой, на возвышенностях преобладали гмелинополынные с фрагментами угнетенных березово-дубовых лесов с примесью граба сердцелистного (*Carpinus cordata*), липы. Об избыточном увлажнении почв островов свидетельствует присутствие спор зеленых водорослей в составе спорово-пыльцевых спектров в почвенных горизонтах ВМ и ВМ_{hi} буроземов.

Около 8,0–7,0 ^{14}C тыс. л.н. продолжающаяся трансгрессия уровня Японского моря и сокращение площади суши вызвали исчезновение прибрежных заболоченных низменностей с восковницей, чему также способствовало продолжающееся потепление климата. Самые высокие значения пыльцы широколиственных пород получены для отложений возрастом около 6,3 тыс. ^{14}C л.н. (р. 4-14, гор. ВМ_{hi}). Несмотря на общий тренд увеличения широколиственных пород, основными фитоценозами на малых островах в это время были разнотравно-злаковые луга на фоне сокращения гмелинополынных. О повышенной влажности почв островов в данный период свидетельствует присутствие в составе спектров спор зеленых водорослей и аскоспор грибов.

В атлантический период (~8,0–4,6 тыс. ^{14}C л.н.) на всех островах ЗПВ отмечается наиболее широкое распространение широколиственных пород. На островах Шкота, Энгельма, Лаврова, Рикорда были развиты уникальные ландшафты, не имеющие современных аналогов как минимум на территории Приморья. Полидоминантный широколиственный лес состоял из бархата, аралии, калопанакса, элеутерококка, липы амурской (*Tilia amurensis*) и подлеском из лещины маньчжурской (*Corylus mandshurica*), винограда амурского (*Vitis amurensis*) с папоротниковым покровом. На о-ве Стенина в отложениях атлантического возраста найдена

заносная пыльца бука японского (*Fagus japonica*), свидетельствующая о расширении его ареала на север.

После термического максимума атлантического периода происходит постепенное снижение климатических параметров и в составе растительности островов ЗПВ уменьшается участие широколиственных пород и увеличивается – мелколиственных и хвойных. На о-ве Моисеева также фиксируется уменьшение роли широколиственных по отношению к пыльцевым спектрам атлантического периода. Активизируются процессы почвенной эрозии.

Около 3,8 тыс. ¹⁴С л.н. на островах ЗПВ отмечалось улучшение климатических условий, что способствовало формированию широколиственных и хвойно-широколиственных формаций.

На островах Моисеева и Пахтусова доминировали кустарниково-полукустарниковые заросли, в частности, на о-ве Моисеева с господством леспедецы двуцветной (*Lespedeza bicolor*). На о-ве Пахтусова фрагментарно были представлены липняки из липы амурской.

В начале субатлантического периода, около 2,5–2,3 тыс. ¹⁴С л.н., произошло резкое и существенное похолодание климата, которое привело к сокращению лесной растительности и увеличению гмелинополынных и разнотравно-полынных лугов на малых островах. Об избыточном увлажнении почв свидетельствуют находки диатомовых и зеленых водорослей.

На других островах ЗПВ происходило усиление позиций березы, в том числе появление сообществ с кустарниковой березкой, вытеснение широколиственных, исчезновение термофилов и распространение ольховников, гмелинополынных. На ряде островов развивались хвойно-широколиственные леса. На материковом побережье распространялись березово-ольховые леса. Усиление штормовой деятельности фиксируется по широкому распространению группировок из сосюреи хорошенькой (*Saussurea pulchella*) на о-ве Моисеева в зоне ветрового забрызга. На других островах ЗПВ активизация фронтально-циклональной деятельности прослеживается по увеличению в десятки раз в составе спорово-пыльцевых спектров количества пыльцы хвойных, особенно сосны густоцветковой (*Pinus densiflora*).

Наступившее дальнейшее постепенное улучшение климатических условий достигло своего максимума в VII–XIII вв. н.э. (средневековая климатическая аномалия). Пыльцевые данные исследуемых островов на территории Приморья свидетельствуют об увеличении доли древесной пыльцы. Развитие получают фрагментарные смешанные широколиственные леса с доминированием дуба монгольского (*Quercus mongolica*) и липы амурской. Локальное распространение маревых на о-ве Пахтусова, скорее всего, связано с увеличением в воздухе большого количества мелкодисперсной влаги в результате усиления штормовой деятельности и подъема уровня моря. О значительном увлажнении почв говорит присутствие зеленых водорослей. Увеличение роли широколиственных пород, в том числе термофилов, во время средневековой климатической аномалии зафиксировано на островах Русский, Стенина и др., а также на побережье п-ова Муравьева-Амурского.

После окончания средневековой климатической аномалии наступил малый ледниковый период (XIII–XIX вв. н.э.). На о-ве Моисеева уменьшилась площадь, занятая лесной растительностью, а также участие в ней ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica*) и ясеня носолистного (*Fraxinus rhynchophylla*); на о-ве Пахтусова лесистость увеличилась. В сложении древостоев возросла роль берез и дуба монгольского, вероятно, присутствовала сосна густоцветковая, а на о-ве Центральный Пахтусова появился тис остроконечный (*Taxus cuspidata*), в почвенном профиле отмечается развитие оподзоленности. На других островах ЗПВ число широколиственных в этот период сокращалось, исчезали термофилы. На о-ве Русском увеличивалась роль кедра корейского (*Pinus koraiensis*) и пихты цельнолистной (*Abies holophylla*), распространялись ольховники.

В условиях современного потепления на о-ве Пахтусова увеличилась лесистость, особенно численность дуба монгольского и берез, появились луга с господством злаков. На о-ве Желтухина возросло участие разнотравья, а на о-ве Моисеева — гмелинополынных. На других островах помимо дуба в составе древесной растительности увеличивается также доля

граба. Присутствие спор грибов рода *Glomus* в поверхностных спектрах свидетельствует об активных эрозионных процессах; зеленые, диатомовые водоросли и амебы рода *Arcella* — об избыточном увлажнении; появление фрагментов хитинового покрова почвенных клещей говорит, как об изменении в сторону увлажнения почвы, так и о повышении ее температуры. Антропогенное влияние отражается в присутствии амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia*) в травянистых сообществах изученных островов.

УДК 631.42

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ПОЧВ ДМИТРОВСКОГО КРЕМЛЯ И ЕЕ СВЯЗЬ С ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

Решетникова Р.А.

Факультет почвоведения МГУ, г. Москва, rada3025@mail.ru

Дмитровский Кремль – одна из древнерусских крепостей, где хорошо сохранился крепостной вал, сконструированный в период с середины XII по конец XIII века. При строительстве вала использовалась природоподобная технология переслаивания материалов, в том числе аллювиальных песков и зональных почв, которые оказались погребенными в толще вала, что обуславливает разнородность его свойств. Вал был окружен рвом с водой, но из-за изменения гидрологической обстановки вода ушла – сейчас можно увидеть небольшой участок рва, восстановленный в 1980-е гг. Подобные почвенно-аллювиальные серии служат уникальным архивом информации о природной среде, а с динамикой русел малых рек во многом связана миграция культур, заселявших Русскую равнину в голоцене.

Изучены образцы почв, отобранные с помощью бура на вершине вала и на внутреннем склоне с западной стороны, на дне рва, а также из археологического раскопа (арх. Прошкин О.Л.) в основании вала с внутренней стороны западной части. Были исследованы магнитные свойства почвенного материала, а также морфологические и химические.

В толще вала чередуются гумусированные и насыщенные артефактами культурные слои со слоями песчаного и суглинистого материала, вероятно, аллювиальными отложениями ближайших рек и моренными суглинками. Среди них есть слои и стяжения рыжего из-за присутствия окисленного железа и темного песка, указывающие на переменную окислительно-восстановительную обстановку в почвах. Во множестве встречающиеся мелкие антропогенные артефакты в разных горизонтах – кирпич, уголь, древесина, стекло, керамика – говорят о насыщенном культурном прошлом со времен основания вала до наших дней.

Гумусированные культурные слои, а также поверхностные горизонты с высоким содержанием органического вещества имеют максимальные значения магнитной восприимчивости. В ожелезненных слоях песка и слоях более темного цвета с супесчаным-легкосуглинистым гранулометрическим составом магнитная восприимчивость закономерно увеличивается.

Раскоп в основании вала вскрывает верхнюю часть профиля исходной погребенной почвы, на которой был сконструирован вал. Это подзолистый горизонт белесого цвета, характерный для почв южной тайги, формирующихся под хвойной растительностью в условиях промывного водного режима. Ровная граница между подзолистым и вышележащим горизонтом может быть связана с пахотной обработкой почвы, кроме того, антропогенной деятельностью (преднамеренным или случайным пожаром) также может объясняться прослойка угля на глубине 105-110 см. Подзолистый горизонт имеет очень низкую магнитную восприимчивость (рис. 1), а вот залегающий на нем культурный слой (110-115 см) имеет слабый пик, который говорит в пользу того, что здесь была поверхность, возможно, подвергшаяся пожару. Следующий пик в раскопе Д1, помимо поверхностного, наблюдается в КС3 (50-65 см) и [А] – предположительно, поверхности следующего этапа существования вала перед новой подсыпкой, датированной по археологическим данным

XIII-XVI вв. Горизонт [A] также имеет гуматный тип гумуса и высокую степень гумификации, что может говорить о теплом и влажном климате или повышенном поступлении в почву удобрений и продуктов жизнедеятельности людей и домашних животных, которыми часто обогащен материал культурных слоев.

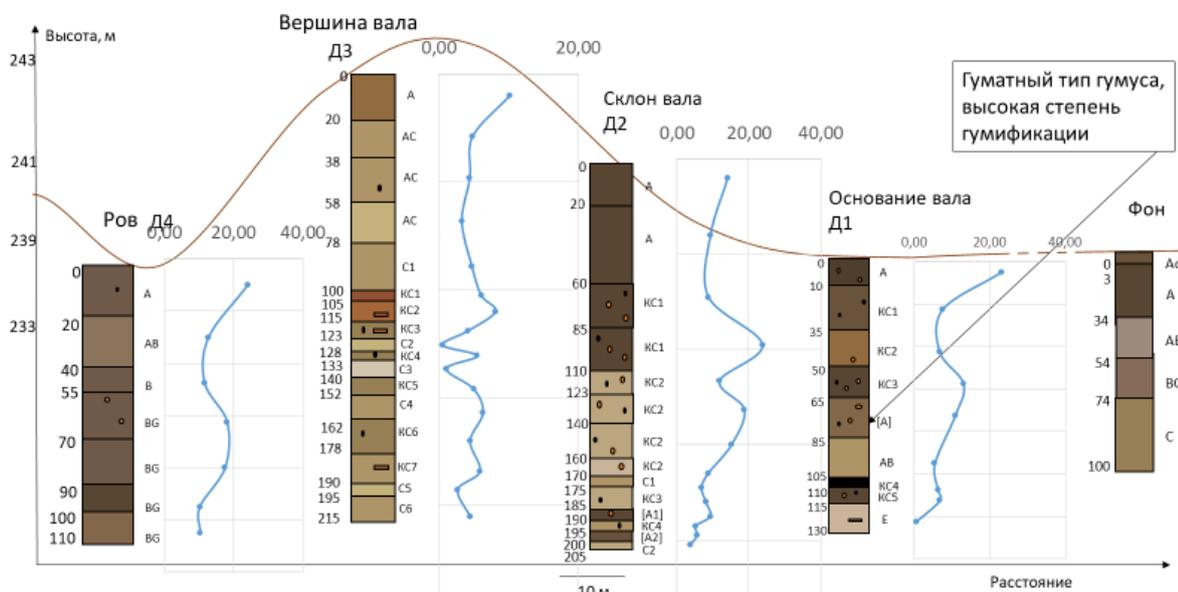


Рис. 1. Магнитная восприимчивость в почвах вала Дмитровского Кремля.

В скважине на вершине вала (Д3) пики магнитной восприимчивости наблюдаются в КС2 (105-115 см), КС4 (128-133 см), С4 (152-162 см) и КС7 (178-190 см). КС2 – слой московской морены, которой укрепляли вал в один из этапов подсыпки, предположительно, третий, и повышенная магнитная восприимчивость здесь связана с содержанием железа, придающего и характерный красноватый цвет. В слоях КС4 и КС7 увеличение содержания магнитных минералов может быть связано с более гумусированным материалом слоев, возможно, бывших какое-то время на дневной поверхности, а в слое С4 – с присутствием ожеженных агрегатов рыжеватого цвета. В скважине на склоне вала (Д2) магнитная восприимчивость повышена в слоях КС1 (85-110 см), КС2 (123-140 см), а также есть небольшие пики в слоях [А1] (185-190) и [А2] (195-200 см), явно погребенных поверхностных горизонтах, содержащих артефакты и большее количество органики.

Почти во всех скважинах в некоторых горизонтах наблюдаются признаки гидроморфизма и переменной окислительно-восстановительной обстановки – охристые и темно-серые стяжения – скорее всего, это реликты, образовавшиеся в почвенном материале до вовлечения его в строительство вала, и отражающие особенности водного режима того времени. Ров в настоящее время не заполняется водой, но в почвенных образцах из него также наблюдаются признаки оглеения. Кроме того, на глубине 55-70 см отмечены включения камней и кирпича, которые могли когда-то формировать дно рва. Кирпичное основание дна по археологическим данным было создано в XVI в. Образцы почв из рва на этой глубине обладают более высокими значениями магнитной восприимчивости, что может быть связано с накоплением органического вещества в намывных почвах или с теплыми и влажными климатическими условиями во время формирования этого материала.

Полученные результаты подтверждают существующие представления о большей увлажненности климата в период строительства крепости, чем в современный. Исторические данные свидетельствуют о болотистости территории с близким к поверхности залеганием грунтовых вод в то время, как нынешняя обстановка более автоморфная, в том числе

благодаря изменению положения русла р. Яхромы. По почвенным свойствам прослеживаются периоды с различной окислительно-восстановительной обстановкой и биоклиматическим потенциалом, но пока что их сложно сопоставить с временными рамками. Свойства почв и культурных слоев отражают влияние процессов строительства крепости и жизнедеятельности людей, а также изменения в природных условиях. Работа выполнена в рамках госзадания МГУ № 122011800459-3

УДК 631.46

ЭКОЛОГО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОЧВ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ СОЧИНСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Рогожина Е.В., Захарихина Л.В.

Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», ул. Яна Фабрициуса, 2/28, Краснодарский край, Сочи, 354002 Россия, e-mail: RogojinaEW@yandex.ru, zlv63@yandex.ru

Горные районы играли значительную роль в заселении первобытным человеком Евразийского континента в плейстоцене. Палеопочвы археологических памятников Сочинского Причерноморья – это палеоаллювиальные темногумусовые почвы (Histosols (Folic), классификация Mack et. al, 1993) стоянок древнего человека. Оба археологических памятника плейстоцен-голоценового периода расположены на правом берегу р. Мзымта и известны как «пещерная стоянка в гроте Ахцу» (8.3 тыс.л.н., 43°56N, 39°99E) и Ахштырская пещера (24,5 тыс.л.н. 43°53N, 39°99E) [1, 2]. Сравнением численности групп микроорганизмов, определяемой методом разведения и посева почвенной суспензии на плотные питательные среды, было отмечено изменение эколого-трофической структуры прокариотного сообщества палеопочв по сравнению с интактной современной почвой, сформировавшейся на ближайших склонах (фон). Численность в палеопочве аммонифицирующих бактерий на порядок ниже по сравнению с современной фоновой почвой (10^5 и 10^6 КОЕ/г соответственно), а содержание олиготрофов соизмеримо (10^6 КОЕ/г). Более активное развитие в палеопочве олиготрофов по сравнению с аммонификаторами является характерной особенностью погребённых почв [3, 4] и может свидетельствовать о низком содержании в них органических соединений азота. Оценка функционального состояния бактериального микробного сообщества палеопочвы грота Ахцу по величине коэффициента сукцессии К (общее количество бактерий: аммонификаторы), показало, что древнее микробное сообщество имело в составе более значительную долю бактерий копитрофного блока (аммонификаторов) по сравнению с фоном. $K_{\text{палео}}$ на порядок ниже фона (155 и 3058 соответственно), что предполагает нестабильность, «незрелость» экосистемы. Возможно, несбалансированность состава функционально-активных групп микробного сообщества палеопочв связана с поступлением в прошлом значительного количества свежего органического вещества как растительного, так и животного происхождения. Изменения функциональной активности палеопочв грота и пещеры по сравнению с фоном проявилось в снижении на порядок содержания ферментов: каталазы (в палеопочвах – 0,1 и 2,2 мл O_2 / г почвы соответственно; в почвах фона – 12,7 мл O_2 / г) и уреазы (в палеопочвах – 0,7 и 0,9 мг NH_3 /10 г почвы соответственно; в почвах фона – 13,0 и 9,0 мг NH_3 /10 г). Сравнительный анализ таксономической структуры прокариотного сообщества выявил, что у всех изученных почв ДНК представлено на 42-79 % бактериями филума *Actinobacteria*. Доминирование во всех исследованных почвах термофильных бактерий филума *Actinobacteria* класса *Thermoleophilia*, семейства *Gaiellaceae*, способных развиваться только при положительных температурах, позволило предположить, что климат на исследуемой горной территории в как в позднем плейстоцене, так и в раннем голоцене был благоприятный, хотя возможно резкое изменение климата в данный период, сопровождаемое сменой фаунистического сообщества, не успело привести к

реструктуризации почвенных микробных комплексов [5]. Ещё 6 филумов, доля которых составляла более 1% от общей ДНК доминировали в микробном сообществе почв: *Proteobacteria* (4,4-26,3%), *Chloroflexi* (4,4-7,8%), *Acidobacteria* (3,1-11,1%), *Nitrospirae* (1,5-3,4%), *Gemmatimonadetes* (1,4-2,8%), *Firmicutes* (0,4-2%). Филум *Planctomycetes* (5,8-20,1%) являлся доминантным только в гидроморфных почвах (грот и фон), а в микробоценозе пещеры присутствовал как минорный компонент (0,5%). Планктомицеты можно рассматривать как индикаторы переувлажненных условий формирования почв.

Индикаторами пещерных палеопочв, формирование которых проходило в менее влажных условиях, с ограниченным поступлением свежего органического вещества (растительных остатков), являлись виды филума *Actinobacteria* порядка *Actinomycetales* семейства *Pseudonocardiaceae* и *Nocardioidaceae*. Доля ДНК этих видов в микробном комплексе почв Ахштырской пещеры на 5.2 - 22 % соответственно выше по сравнению с фоном.

Актиномицеты данных семейств характеризуются засухоустойчивостью и способностью потреблять в качестве субстратов сложные органические вещества [6]. Грибное сообщество палеопочв также имело различия с фоновой почвой: было определено снижение на порядок численности микромицетов. Снижение активности микромицетов в результате диагенеза палеопочв подтверждалось микробным «пейзажем» по России-Холодному, на котором отсутствовал грибной мицелий. Повышенное содержание кератинолитических грибов в Ахштырской пещере, совместно с другими найденными антропогенными артефактами, может подтверждать её использование в качестве жилья древним человеком и временного хранения там животных, добытых при охоте.

Кулаков С.А., Кизилев А.С., Дятлов А.С. Открытие нового памятника мезолита в Сочинском Причерноморье // Археологические открытия. – 2017. – Т. 2015. – С. 233-234.

Кулаков С.А., Кулькова М.А. Предварительная корреляция результатов стратиграфического и литолого-минералогического изучения отложений Ахштырской пещерной стоянки // Палеолит и мезолит Восточной Европы: Москва. – 2011. – С. 59-77.

Демкин В.А., Ельцов М.В., Демкина Т.С., Хомутова Т.Э. Палеопочвы археологических памятников степной зоны как индикаторы развития природной среды в голоцене // Вестник Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, – т.18, – вып.3, – 2013 – С. 966-970 ISSN 1810-0198

Demkina, T.S., Khomutova, T.E., Kashirskaya, N.N. et al. Microbiological investigations of paleosols of archeological monuments in the steppe zone. Eurasian Soil Sc. 43, 194–201 (2010). <https://doi.org/10.1134/S1064229310020092>

Saidi-Mehrabad A. Neuberger P. Hajihosseini M. et al. Permafrost Microbial Community Structure Changes Across the Pleistocene-Holocene Boundary. Front. Environ. Sci. 2020; 8:133. DOI:10.3389/fenvs.2020.00133

Zakharikhina L. V., Rogozhina E. V., Kizilov A. S. Paleosols of Archaeological Sites in the Sochi Black Sea Coast // NVEO-NATURAL VOLATILES & ESSENTIAL OILS Journal| NVEO. – 2021. – С. 8004-8036. e-ISSN: 2148-9637

<https://www.nveo.org/index.php/journal/article/view/1668/1457>

УДК 631.48

ПОЧВЕННЫЕ АРХИВЫ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОТЛОВИНАХ СТЕПНЫХ ОЗЁР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Сапрыкин О.И., Смоленцева Е.Н.

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, saprykin@issa-siberia.ru

Наряду с важными и широко используемыми природными архивами – донными отложениями озёр – в озёрных котловинах степного биотопа Западной Сибири, встречаются голоценовые почвенные архивы. Это погребённые почвы и сложно организованные

почвенно-седиментационные последовательности (ПСП), приуроченные к озёрным береговым валам. ПСП состоят из закономерного чередования погребённых почв и отложений различного генезиса. Они содержат «записи», свидетельствующие о чередовании в голоцене этапов осадконакопления и педогенеза на этой территории. Здесь представлены результаты изучения двух степных озёр: Кулундинского и Кучукского. Оба озера расположены на территории Алтайского края в центральной части Кулундинской равнины. Объектами исследования в котловине оз. Кулундинское послужили ПСП KUL5 и KUL6, приуроченные к двум разновозрастным береговым валам озера на его западном берегу. Разрез KUL5 приуроченный к более молодому валу, состоит из двух седиментационных слоев: верхние 80 см образованы озерными песками берегового вала, в верхней части – гравийно-крупно-песчаными, в нижней – мелкопесчаными. Подстилаются они слоистым лимнием озерной террасы. Разрез KUL6, заложенный на более древней береговой линии, также образован двумя седиментами: слой 0-73 см это озерные крупно-зернистые пески с гравием, залегающие на опесчаненых суглинках, из которых сложена поверхность прилегающей равнины.

Разрез KUL5 состоит из поверхностной и трёх погребенных почв. Поверхностная почва представлена тёмногумусовой (отдел органо-аккумулятивные) почвой с профилем А–С. Две погребенные почвы представляют собой перегнойно-тёмногумусовые глееватые почвы, также относящиеся к отделу органо-аккумулятивные без срединного горизонта и с признаками гидрогенной трансформации (оржавление и оглеение) в почвообразующей породе. Содержание Сорг в поверхностном гумусовом горизонте среднее: 4-5%, в погребённых низкое – 1-2%, несмотря на хорошо выраженную тёмную окраску. Седименты береговых валов и почвенные горизонты, сформированные из них, имеют слабокислый рН (5,7-6,0), бескарбонатны, не засолены (удельная электропроводность (УЭП) равна 0,03900-0,039-0,050 дСм/м). Верхний горизонт самой нижней погребенной почвы полностью смыт, сохранились только фрагменты срединного горизонта, имеющего признаки глееватого горизонта Вg. Реакция среды горизонта нейтральная (рН 6,9 – 7,2), содержание карбонатов низкое (2-3%), Сорг также низкое – 0,29-0,27%, сумма солей по результатам водной вытяжки составляет 0,05-0,08 %, УЭП равна 0,104–0,123 дСм/м.

Верхняя часть разреза KUL6 представляет собой педокомплекс из двух темногумусовых горизонтов общей мощностью 28 см. Слой 28-73 см – это крупнозернистый песок с мелким гравием и без признаков педогенеза. Нижняя погребенная почва (слой 73-130 см) сохранилась лишь частично. Верхний её горизонт полностью разрушен и перемешан с песчаным субстратом, о чем свидетельствует окраска вышележащего слоя, сохранился лишь горизонт, свойства которого соответствуют квазиглеевому срединному горизонту.

ПСП оз. Кулундинское фиксируют озёрные ритмы, произошедшие в позднем голоцене.

Около 3,1 кал. т.л.н. началась трансгрессия озера, проходившая в два этапа. Максимальная трансгрессия относится к периоду 1,3-1,2 кал. т.л.н., в результате которой отложился дальний от береговой линии вал. Это событие было однократным, но продолжительным, так как сформировался седиментационный слой около 80 см. Поздняя трансгрессия, когда в ПСП KUL5-20 отложился верхний слой пляжевых песков берегового вала, датируется возрастом 741 кал.л.н.

На озёрной террасе в юго-западной части котловины оз. Кучукское расположены два береговых песчаных вала на 2 и 3 метра выше относительно современного уровня воды в озере. Здесь были изучены две ПСП – разрезы КЧ2-19, КЧ3-19.

В нижней части ПСП разрезов КЧ2-19 и КЧ3-19 находятся погребенные среднеголоценовые почвы, сформированные на лессовидных суглинках: темногумусовая почва и чернозем текстурно-карбонатный. Обе погребенные почвы характеризуются хорошо развитым гумусовым профилем с темногумусовым горизонтом (AU), о чем свидетельствуют цвет, гомогенная прокраска, содержание органического углерода, тип гумуса. Современные дневные автоморфные почвы этой территории – тёмно-каштановые и каштановые,

гумусовый горизонт которых имеет другие характеристики, в частности, более коричневую окраску гумусового горизонта. Это означает, что погребенные почвы формировались в более влажных условиях, чем современные. По современному районированию это территория относится к сухостепной зоне, а характеристики погребенных почв больше соответствуют настоящей степи по условиям увлажнения и продуктивности фитоценозов.

Химические свойства слоёв в ПСП зависят от гранулометрического состава седиментов и от педогенеза. Поверхностные почвы имеют нейтральный pH (7,0-7,2), низкое содержание CaCO₃ (1-2%) и повышенное содержание Сорг (2-5 %). Погребённые почвы двух разрезов характеризуются щелочным pH (8,0-8,3), повышенным содержанием CaCO₃ в горизонте AU (4-6 %) и высоким – в горизонте ВСА (19-20 %). Содержание Сорг в погребённых почвах ниже, чем в поверхностных, что возможно обусловлено диагенетической трансформацией погребённого гумуса. Дневные почвы в обоих ПСП незасолены: УЭП составляет 0,1-0,2 дСм/м, сумма солей варьируется в пределах 0,05-0,12%. Погребённые почвы характеризуются слабым сульфатно-натриевым засолением (сумма солей 0,15-0,49%, УЭП 0,25-0,52 дСм/м).

В разрезе КЧ2-19 горизонт [AU] погребен под береговым песчаным валом и частично срезан (мощность сохранившегося горизонта 14 см). В разрезе КЧ3-19 гумусовый горизонт имеет лучшую сохранность (35 см) и погребен под озёрным валом 1,4-1,6 кал. т.л.н. Один из эпизодов трансгрессии озера датируется 4,4-4,7 кал. т.л.н (время погребения тёмногумусовой почвы), затем 2,8-2,9 кал. т.л.н. Последний эпизод незначительного подъема уровня воды в озере произошел 827 ± 67 кал.л.н. Самый дальний и древний береговой вал фиксирует уровень максимальной трансгрессии озера. Калиброванный возраст образца, взятого у верхней границы погребенного гумусового горизонта в разрезе КЧ3-19, позволяет отнести этап трансгрессий озера ко времени позже 1,4 – 1,6 кал. т.л.н.

Таким образом, изменения уровня воды в озере Кучукское и ландшафтная перестройка в его окружении, аналогичны таковым же в котловине озера Кулундинское: водоем с уровнем воды выше современного, вокруг которого существовал болотный приозерный пояс, где формировались гидроморфные (н-р, перегнойно-тёмногумусовые) почвы, однако без признаков засоления, что соответствует прохладным и влажным условиям. Затем происходит резкое повышение уровня озера, в результате чего оно наступает на прилегающие территории, разрушает частично или полностью почвенный покров и формирует дальний береговой вал. Затем последовала фаза регрессии, которая маркировалась более молодыми палеобереговыми линиями и валами, соответственно. Это означает, что ПСП, в отличие от донных отложений, могут фиксировать непродолжительные эпизоды трансгрессии-регрессии озера и отражать короткие климатические ритмы гумидизации и аридизации регионального и локального климата. Современная ландшафтная обстановка в котловинах изученных озер характеризуется регрессивным этапом их ритма и формированием засоленных и галоморфных почв в их окружении. Это соответствует аридному климату, сухостепной растительности и почвам со светлогумусовым (AJ) типодиагностическим горизонтом.

Работа выполнена по государственному заданию ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН

УДК 631.46

ПОЧВЫ И КУРГАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПАМЯТНИКОВ ЯМНОЙ КУЛЬТУРЫ
ЗАПАДНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ

Сверчкова А.Э.¹, Хохлова О.С.²

¹Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29, Москва, 11901, Россия; ²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия, e-mail - acha3107@gmail.com

Традиционно считается, что курганы возводили из земляного материала, в произвольном (хаотичном) порядке насыпанного над могилой умершего. Но последние исследования многочисленных курганов степной зоны России говорят об обратном и указывают на то, что как для создания собственно курганной конструкции (по сути, архитектурного земляного сооружения), так и при работе с материалами, из которых эта конструкция создана, должны были использоваться определенные технологические приёмы. Наше исследование было направлено на изучение почв, погребенных под курганами, и материалов курганных конструкций как единого целого первоначально с целью проведения палеоклиматической реконструкции для времени строительства курганов и в дальнейшем – для определения источника земляного материала и основных приёмов строительства курганов ямной культуры бронзового века в Западном Оренбуржье. Объекты исследования расположены в степной полосе Южного Приуралья. В период с 2019 по 2022 гг. проведены охранные раскопки трёх курганных могильников, расположенных в Ташлинском (курганные могильники Болдырево IV и Ташла IV) и Грачевском районах (курганный могильник Каликино II) Оренбургской области. Согласно археологическим данным и на основе радиоуглеродного датирования изученные курганы были сооружены в интервалах от завершения репинского раннего этапа к началу развитого этапа А, а также в течение всего развитого этапа А ямной культуры, 5500–4300 л.н. Курган 1 в Болдырево IV имел самые значительные размеры (высота 4,2 м, диаметр 60 м) и был выбран ключевым объектом, для которого проведен полный комплекс исследований. Этот курган имел четыре конструкции, сооруженные последовательно. Изучены погребенные под всеми конструкциями кургана почвы, архитектура всего кургана в целом, а также материалы, из которых его конструкции были построены. Курганы 1 в Ташле IV, а также курганы 1, 4 и 5 в Каликино II имели меньшие размеры, в них изучены архитектура курганов и свойства земляных материалов курганных конструкций. Проведен иерархический морфогенетический анализ погребенных почв и материалов курганных конструкций на макро-, мезо- и микроморфологических уровнях исследования. Аналитическое изучение включало измерения содержания органического и карбонатного углерода, потерь при прокаливании, гранулометрического состава, магнитной восприимчивости и рН водной вытяжки.

За время строительства кургана 1 в Болдырево IV в почвах, погребенных под четырьмя конструкциями кургана, и в земляном материале конструкций были зафиксированы однонаправленные изменения морфологического облика и физико-химических свойств. Это позволило реконструировать усиление аридизации климата в конце репинского этапа ямной культуры. В начале развитого этапа А ямной культуры климат становится более гумидным и остается таковым в течение всего указанного этапа. Кроме этого, удалось доказать, что при строительстве небольших курганов люди использовали грубый замес и трамбовку, а для курганов побольше реализовывалась либо более сложная конструкция, либо использовался более тщательный замес и трамбовка, а также более длительное воздействие воды, чтобы внушительная конструкция могла простоять долгое время. Именно в таких конструкциях на микроуровне отмечается подвижность железисто-глинистого материала, обусловленная воздействием воды и полностью отсутствующая в микростроении окружающих почвах. Источником материала для курганных конструкций служили разные горизонты местных почв, к ним добавлялся антропогенный материал (ил, кости, речные раковины). Особой приметой именно ямных курганов Южного Приуралья является пестроцвет, выявленный в строении их курганных конструкций, в котором на фоне темного (взятого из гумусового горизонта) или светлого (взятого из карбонатного горизонта) основного материала выделяются обособленные контрастные по цвету пятна. Для создания пестроцвета необходим был тщательный замес, что и было зафиксировано в ходе микроморфологического исследования курганных конструкций. Также применялась трамбовка разнородного материала. На микроморфологическом уровне это выглядит как чередование светлых рыхлых и темных более уплотнённых микрозон.

На основе комплексного анализа изученных курганных конструкций можно констатировать, что представители ямной культуры Южного Приуралья владели знаниями о строительных технологиях и использовали их как для создания сложных по архитектуре курганов, так и при работе с земляным материалом, из которого эти курганы построены. Знание о свойствах земляных материалов курганных конструкций является дополнительным источником информации для палеогеографических реконструкций, а сами курганные конструкции – это уникальные объекты для изучения архитектуры земляных памятников и получения данных о технологиях, применявшейся древними людьми для их строительства. Работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 23-68-10006.

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ, ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МЕЗО И МИКРОУРОВНЕ

Сидорова И.Я.¹, Ковалева Н.О.², Ковалев И.В.³

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Yaroslavovna1999@yandex.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, natalia_kovaleva@mail.ru

³МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, kovalevmsu@mail.ru

Белгородская оборонительная черта – одна из самых мощных и сложных линии укреплений, созданных на границах Московского государства в XVI–XVII вв. Имея протяженность около 800 км, она начиналась у р. Челновая (приток Цны) и заканчивалась на р. Ворскла (приток Днепра), русско-польской границе того времени. С 30-х по 50-е гг. XVII в. на путях вторжений крымских и ногайских татар была возведена линия укреплений, включавшая в себя города-крепости, стоялые и жилые острожки, земляные городки, валы со рвами, частоколы, надолбы, засеки, а также такие естественные природные препятствия как реки, леса и болота. В свою очередь, засечные черты и входящие в их состав фортификационные сооружения выполняли функции трасс освоения: вдоль них возникали города и села, интенсивно распаивались земли. Освоение человеком компонентов природной среды региона в течение долго времени привело к серьезным изменениям в ландшафтах и появлению экосистем, серьезно отличающихся от естественных, что значительно осложняет процесс изучения динамики природной среды территории. В настоящее время ведется активное изучение и описание, а также музеефикация археологических объектов вдоль Белгородской оборонительной черты научной группой, в которой наряду с археологами входим и мы.

Объектами исследования послужили фортификационные сооружения и погребенные под ними почвы лесостепной зоны Восточно-Европейской равнины, а именно: Острогжский вал, система рвов с внутренней и внешней от вала стороны. Острогжский земляной вал расположен на территории Острогжского района Воронежской области. Он пролегает по обоим берегам сухого русла р. Острогоша, пересекая ее русло перпендикулярно. Памятник археологии удален на 4,15 км к северо-западу от северной окраины г. Острогжск и состоит из трех участков: на склоне правого невысокого берега, плавно переходящего в коренной, на склоне левого невысокого берега, плавно переходящего в коренной, на склоне левого коренного берега и части плато.

В основу изучения погребенных почв лег метод хронорядов, который путем составления хронорядов почв, погребенных под разновременными конструкциями, позволяет установить направленность изменчивости почвенных свойств во времени и провести палеоклиматические реконструкции на основе сравнительного анализа палеопочв между собой и с современными почвами. Методы исследования включали определение рН водной суспензии потенциометрически, определение содержания органического углерода (после фумигирования карбонатов кислотой) и азота с помощью сухого сжигания на элементном CNS-анализаторе, определение магнитной восприимчивости полевым каппаметром КТ-5, гранулометрического состава – методом Качинского, электропроводности в почвенных

пастах, доведенных до нижнего предела пластичности, – прибором LandMapper – 03/04. Состав стабильных изотопов углерода определен на изотопном анализаторе Termo-Finnigan Delta V Plus после предварительного фумигирования карбонатов.

По результатам проделанных анализов было выявлено, что в конструкции вала чередуются слои известковой породы (мел, мергель), слои дернины с разным содержанием растительных остатков разной степени разложённости, а также грунтов разного гранулометрического состава, плотности с разным процентным содержанием щебня. При этом чередуются слои среднего и тяжелого суглинка и глины, щебнистость в них варьирует от 10 до 100 %. Инженерные особенности конструкции вала обнаруживают использование таких строительных приемов как использование речного ила глинистого гранулометрического состава, карбонатов и гипса для укрепления слоев земляного сооружения. Содержание гумуса в слоях вала также неодинаково: от 2 % в минеральных горизонтах до 4-5 % в современных дневных почвах, и до 9 % в погребенной под валом почве. Реакция среды почвенного раствора в верхних частях изученных профилей слабо- и средне-щелочная, в погребенной почве под памятником – близкая к нейтральной, а в нижних горизонтах фонового чернозема - сильнощелочная. Судя по высоким значениям pH и неравномерному распределению карбонатов по профилю раскопа, для укрепления конструкции вала использовались растворы карбонатов кальция и гипса. Устойчивости вала способствовала и его геометрия, а именно оптимальный коэффициент откоса склонов. Полученные результаты хорошо согласуются и с данными магнитной восприимчивости изученных почв и культурных слоев. Значения магнитной восприимчивости минимальны в слоях почвообразующей породы под валом и максимальны в поверхностных и погребенных гумусовых горизонтах, однако, наибольших значений они достигают в погребенной под валом почве, что позволяет диагностировать наиболее гидроморфные условия. Определение электропроводности обнаруживает засоление сильной и средней степени в погребенной почве под валом и в нижних частях земляной конструкции, что связано с высоким содержанием карбонатов и гипса в грунтовой воде, материнской породе, а также с технологией замеса известковых материалов в нижних слоях конструкции. Анализ материалов конструкции Острогжского вала и погребенных под ним почв показал, что валы строились из местных почв с добавлением речного ила и материнской породы мелко-мергелиевого состава. Впоследствии их свойства менялись однонаправленно и отлично от свойств фоновых почв. В конструкции вала выявлены 4 гумусированных слоя и 4 слоя породы. Установлены особенности технологии строительства изученного памятника: метод ленточного глинобита, использование речного ила, карбонатов и гипса для укрепления земляной конструкции, чередование грунтов разной плотности, разного гранулометрического состава и разной щебнистости, переслаивание породы дерниной.

УДК 631.4, 551.8

ПЕРИОДЫ СЛАБОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЯ ПРЕДГОРИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ: ПЕРВЫЕ ПАЛЕОПОЧВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАЛЕОЛИТИЧЕСКОЙ СТОЯНКИ РАХАТ

Столпникова Е.М.^{1,2}, Ожерельев Д.В.³, Ковалева Н.О.²

¹ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, Москва, e-mail: opallada@yandex.ru

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

³Институт Археологии РАН, Москва

Исследуемый объект - лёссово-почвенная серия позднего ледниковья расположена предгорьях хребта Заилийский Алатау (Северный Тянь-Шань, Юго-Восточный Кавказ). Толща мощностью более 12 м вскрытая раскопом верхнепалеолитической стоянки Рахат представляет собой палеоклиматический архив, включающий не только культурные слои, но и слаборазвитые почвы, а также литологические слои, свидетельствующие об особенностях

накопления лёссовой массы в период 26-19 тысяч лет назад (некал.). Особенностью данной пачки отложений является её визуальная однородность. Вся исследуемая толща имеет палевою окраску (за исключением горизонтов венчающей её голоценовой почвы) и пропитана карбонатом кальция, имеет признаки оглеения в виде слабой сизоватости окраски к низу раскопа, пористость. Окраска позднеплейстоценовой части раскопа по Манселлу варьирует от 10YR 7/4 (very pale brown) до 10YR7/2 (light gray) и 10YR6/3 (pale brown). Измеренная магнитная восприимчивость варьирует по профилю раскопа в широких пределах от 35 до $100 \cdot 10^{-6}$ СГСМ. Максимумы чётко маркируют слои с очагами, где магнитная восприимчивость возрастает в два раза. В среднем подобный порядок величин свидетельствует о накоплении пачки в автоморфных условиях. Несмотря на то, что раскоп расположен в долине одноимённой реки.

По данным гранулометрического состава формирующие отложения стоянки относятся к типичным лёссам с доминированием фракции крупной пыли ($d=0,05-0,01$ мм). Именно эта фракция показательная для лёссов в целом фактически не меняется по разрезу за исключением слоя на глубинах 9,3-10,8 м. Здесь гранулометрический состав фиксирует резкое седиментологическое событие, связанное, по-видимому, с увеличением скорости ветров и соответственно размера переносимых и накапливаемых частиц. Размер преобладающих частиц был сдвинут в сторону преобладания фракции тонкого песка (0,25-0,05 мм). Событие это происходило непосредственно перед накоплением горизонта без находок, связанного с последним ледниковым максимумом (23-20 тыс.л.н.).

Изотопные исследования углерода фиксируют по меньшей мере 4 эпизода гумидизации климата в период 26-19 тыс.л.н., которые не всегда совпадают с наличием культурных слоёв в данном горизонте. Интересно отметить, что некоторые из этих периодов обладали даже большей гумидностью, нежели современный климат в месте исследования. В целом изотопный состав органического углерода ($\delta^{13}C$) колеблется в пределах от -24,1 до -25,5‰, характеризуя формирование почв и лёссов в достаточно аридных условиях. В таких условиях уже небольшое увеличение влажности климата могло приводить к более благоприятным условиям почвообразования. Почвообразование носило тем не менее синлитогенный характер и скорость накопления осадков превышала возможности формирования развитых горизонтов почв. Об этом также говорит отсутствие сильных флуктуаций в гранулометрическом распределении фракций и магнитной восприимчивости, которые должны маркировать изменения условий почвообразования.

Таким образом горизонты слаборазвитых почв, маркирующие этапы гумидизации и возможно потепления климата не всегда синхронны культурным слоям, что достаточно часто встречается в археологических раскопах палеолитических стоянок позднеледниковья и говорит о том, что это не было определяющим фактором для существования поселения, либо же данные флуктуации климата не были настолько сильными, чтобы влиять на перемещение человека.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 23-1800329 «Культурная динамика в эпоху среднего и верхнего палеолита на территории внутренних бассейнов аридной зоны Казахстана в контексте изменений окружающей среды»

УДК 631.48, 551.89

СТАДИЙНОСТЬ РАЗВИТИЯ РЫШКОВСКОГО ПЕДОЛИТОКОМПЛЕКСА (127-117 ТЫС. Л.Н.) ПРИ СМЕНЕ БЛАГОПРИЯТНЫХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В МИКУЛИНСКОМ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ (АЛЕКСАНДРОВСКИЙ КАРЬЕР 2011)

Сычева С.А.¹, Гольева А.А.¹, Хохлова О.С.², Пушкина П.Г.¹, Горбачева Т.М.³

¹Институт географии РАН, e-mail: sychevasa@mail.ru, golyevaaa@yandex.ru, p.pushkina@yandex.ru;

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, olga_004@rambler.ru;

Комплексное палеопочвенно-биоморфное исследование рышковского педолитокомплекса микулинского межледниковья (МИС 5е), проведенное для профиля на склоне и в днище погребенного берегового оврага, заполненного пролювиальными и аллювиально-делювиальными отложениями в Александровском карьере (Курская обл.), значительно детализировало событийную историю и позволило реконструировать эволюцию почв, ландшафтов и климата завершенное межледниковье (рис. 1).

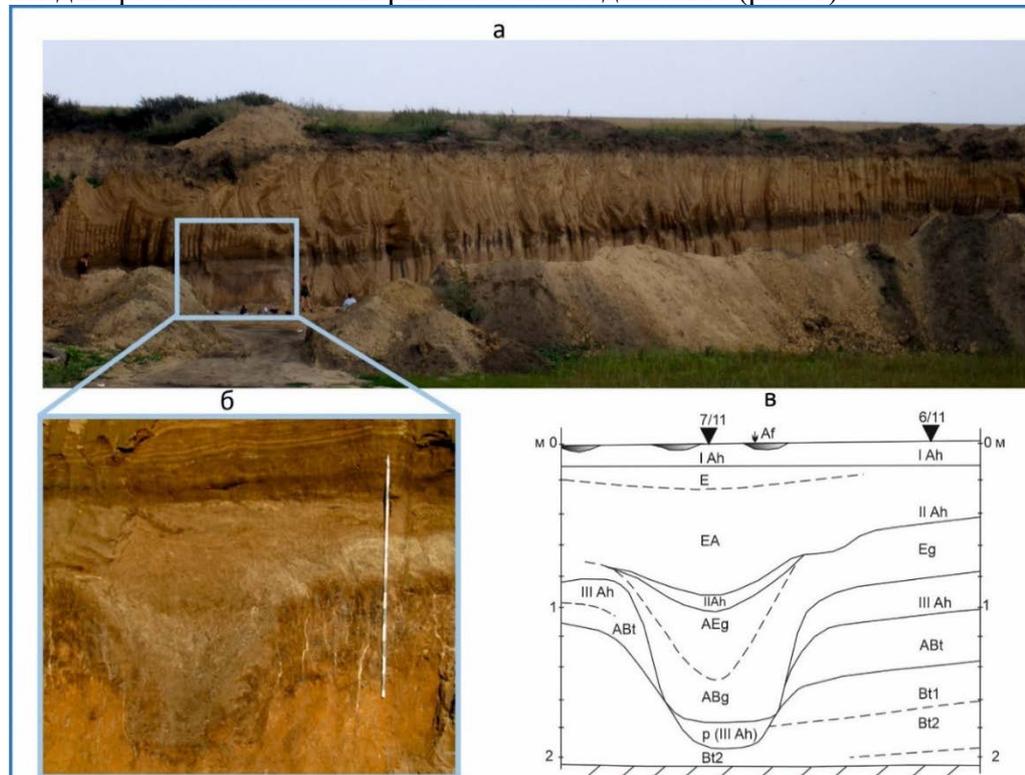


Рис. 1. Рышковский педолитокомплекс (МИС 5е) на склоне палеобалки (а) и в погребенном овраге Александровского карьера-2011 (б); строение педолитокомплекса (в).

В профиле рышковского педолитокомплекса хорошо выражена нижняя серая почва (Luvisols), отражающая более теплые климатические условия первой половины микулинского межледниковья. Во второй половине межледниковья преимущественное развитие получили дерново-подзолистые почвы (Retisols). Почвообразование в трансаккумулятивных ландшафтах неоднократно прерывалось эрозионно-аккумулятивными процессами, что отражает нестабильность (ритмичность) климатической обстановки в микулинское (эмское) межледниковье. Наиболее интенсивной эрозионной стадией была завершающая, которой предшествовали катастрофические лесные пожары, случившиеся в результате продолжительных засух в самом конце межледниковья. Педогенные фазы отражают наиболее благоприятные ландшафтно-климатические условия, в то время как морфолитогенные – экстремальные для почвообразования, связанные с внутримежледниковыми похолоданиями. Выявленная цикличность – повторяемость педогенных и морфолитогенных стадий, связанная с изменчивостью климата в микулинское межледниковье, была также реконструирована по другим биостратиграфическим индикаторам: изменению спорово-пыльцевых спектров, составу и количеству микробиоформ по профилю рышковского педолитокомплекса. Полученные палеоклиматические и биоценотические данные реконструируют смену относительно сухих и теплых условий с лугово-степным разнотравьем начальных стадий развития ландшафтов в начале межледниковья этапами похолодания и усиления общей увлажненности,

сопровождаясь интенсивной линейной эрозией – в конце. Эрозионные процессы уничтожили верхние 30-40 см почв, сформированных на склонах балки, сохранив при этом (за счет мощных наносов) наиболее полный информационный блок почв и отложений в днище балки. Сравнительные морфогенетический и физико-химические анализы, дополненные характеристиками фитолитных комплексов погребенных почв на склонах и в днищах оврага и палеобалки убедительно показали более высокую информативность профилей почв, развитых на подчиненных элементах рельефа по сравнению с плакорными, где за счет эрозионных сносов происходило частичное или полное уничтожение педогенных архивов информации об условиях среды.

Проведенные исследования существенно дополнили базу данных о природно-климатических и ландшафтных условиях завершеного межледникового – последнего перед голоценом. Впервые для педоседиментационных архивов суши эти исследования позволили получить новые результаты о динамике природных условий в предыдущем микулинском межледниковье, которые вполне согласуются с детальными записями водных и ледовых архивов МИС 5е и могут служить надежным инструментом для долгосрочных прогнозов изменения климата в текущем межледниковье – голоцене.

УДК 631.42

ДИАГНОСТИКА ПАЛЕОПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОТЛОЖЕНИЙ MIS 18 НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Учаев А.П.¹, Некрасова О.А.¹, Дергачева М.И.², Бажина Н.Л.²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, uchaev89@inbox.ru; ² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, mid555@yandex.com

В геологических отложениях Южного Урала выделяется тыньинский стратиграфический горизонт (MIS 18), время формирования которого относится к 660–610 тыс. лет назад. Объектом исследования послужили отложения, вскрытые в центральной части глиняного карьера в окрестностях города Миасс (Челябинская область, Южный Урал), расположенного в провинции восточных предгорий Уральского хребта, в подзоне сосново-березовых лесов горно-лесной зоны Урала.

Зачистка в обнажении борта карьера, вскрывшая среднеплейстоценовые отложения, вмещающие осадки тыньинского горизонта, была изучена с позиций палеопочвоведения. Почвенные образцы отбирались из зачистки погребенных отложений подробно, сплошной колонкой, с учетом видимых границ горизонтов, каждые 5–10 см. Полученные физико-химические характеристики новой зачистки тыньинского горизонта близки к материалам, полученным ранее. Магнитная восприимчивость песчано-каменистого слоя тыньинского горизонта имеет высокие значения, изменяющиеся от $2,2 \cdot 10^{-6}$ до $6,6 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г. В подстилающих и перекрывающих осадках ее величина варьирует в гораздо меньших пределах значений и в более узком диапазоне – от $1,1 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г и от $1,5 \cdot 10^{-6}$ до $3,3 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г соответственно. Вся толща тыньинских отложений имеет щелочную реакцию среды. Песчано-каменистый слой содержит 0,18% общего органического углерода, в толще подстилающих и перекрывающих осадков тыньинского стратиграфического горизонта оно несколько выше (0,10–0,22%). Содержание карбонатов в тыньинских отложениях составляет около 5%. В составе обменных оснований кальций преобладает над магнием.

Также получены новые данные соотношения гуминовых кислот с другими компонентами гумуса, а также показателями состава и спектральных свойств гуминовых кислот, что нам позволило провести диагностику палеоприродной среды для отложений MIS 18 педогумусовым методом.

Проведенная диагностика показала, что формирование большей части толщи тыньинского горизонта согласно изменению величины соотношения углерода гуминовых кислот к

углероду фульвокислот протекало в холодных и влажных условиях при продолжающемся понижении теплообеспеченности и росте увлажненности (в верхней метровой толще значения $C_{гк}:C_{фк}$ соответствуют фульватному типу (0,28–0,43), в остальной части – гуматно-фульватному – (0,50–0,90). В результате исследования выделенных из толщи тыньинского горизонта гуминовых кислот были получены материалы, характеризующие их элементный состав и спектральные свойства в видимой области спектра и свойства флуоресценции. Данные показывают, что толще тыньинских отложений характерны наибольшие абсолютные величины отношения Н:С в гуминовых кислотах, составляющее в среднем $1,54 \pm 0,14$ и наименьшие величины длины волны максимума флуоресценции $\lambda_{max} - 423$ и первого момента $M_1 - 498$, которые характерны для современных почв, формирующихся в холодных и влажных условиях природной среды. Проведенная по параметрам соотношения основных структурообразующих элементов – Н:С – в составе гуминовых кислот диагностика условий формирования отложений тыньинского стратиграфического горизонта с использованием графиков, отражающих положение полей распределения этого показателя гуминовых кислот в координатах Н–С, свидетельствует о том, что они вероятнее всего формировались в условиях, аналогичных по тепло- и влагообеспеченности лесотундровым или тундровым. На основании выявленной ранее связи между соотношением Н:С и периодом биологической активности (ПБА) было осуществлено определение ПБА для толщи тыньинских отложений. Полученные данные о соотношении величин Н:С гуминовых кислот отложений тыньинского стратиграфического горизонта, показывают, что ПБА не превышает 60 дней, что характерно для суровых низкотемпературных условий. Таким образом, состав гумуса, а также характеристики состава и свойств гуминовых кислот отложений тыньинского стратиграфического горизонта позволили установить, что их формирование происходило в условиях, аналогичных лесотундровым или тундровым. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема Государственного задания FEUZ-2024-0011.

УДК 631.48:631.445

ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЕ АЛАСЫ В СОВРЕМЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ

Фоминых Л.А., Стрижакова Е.Р.

ФГБУ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Московская обл. e-mail: lfominyck@rambler.ru

Колымская низменность относится исследователями к рангу великих аккумулятивных равнин Севера. Она является западной частью древней Берингийской суши, простиравшейся в плейстоцене по обе стороны современного Берингова пролива далеко на север. Здесь сформировалась самая древняя в Северном полушарии, низкотемпературная и мощная толща многолетнемерзлых пород, сохранившаяся на данной территории даже в ландшафтах голоценового межледниковья. Здесь, по мнению специалистов, происходило формирование плейстоценовой флоры и фауны. Процесс констративного накопления осадков шел последовательно от эоплейстоцен-раннеплейстоценового времени до конца неоплейстоцена. Строение этих толщ обнаруживается в полной мере в обрывах рек, где тектонические процессы вывели из-под уреза древние толщи олерского возраста. В заключительный этап осадконакопления (времени МИС 2) происходит формирование высокольдистых отложений, слагающих верхнюю рельефообразующую толщу ледового комплекса (ЛК), которая на территории Приморских низменностей носит название «едомы». Активизация тектонических процессов в регионе происходит во второй половине позднеплейстоценового времени, в начале и в середине голоцена. Пробуждение океана и трансгрессия моря к началу голоцена достигает современной береговой линии Колымской низменности. На шельфе сохранились от затопления участки плейстоценовой суши – Новосибирские острова. Здесь

исследователям высокоширотной едомы удалось обнаружить аласные комплексы (АК), в основании ледового комплекса (едомы) зырянского возраста (МИС 4), перекрытой едомой МИС 2. АК залетают в виде линз размером от 100 м до первых км и мощностью порядка 10-15 м. При этом их кровля залегает гипсометрически ниже кровли вмещающего ЛК. Одна из загадок плейстоцена – условия существования «мамонтной фауны», в состав которой входили животные, ныне обитающие в разных ландшафтных зонах: в тундровой, таежной и степной. Так, в одной ископаемой фауне могут встречаться остатки овцебыка, северного оленя и леммингов вместе с остатками лося и марала, лошадей, антилоп и степных грызунов. Концепция тундростепных перигляциальных ландшафтов плейстоцена получила в 60-е годы прошлого века широкое признание и была подкреплена палеоботаническими данными, которые показали, что в составе «приледниковых» (тундростепных флор и палинофлор, наряду с тундровыми, играли значительную роль растения, распространенные ныне в лесной и степной зоне. Развивалось представление о мозаичности тундростепных ландшафтов. Выяснилось, что ископаемые фауны насекомых, сопровождавшие тундростепные фауны млекопитающих, включали много степных видов, не живущих сейчас на севере и вообще имели «смешанный аналогичный характер, представляя собой группировки, ныне нигде на земле не встречающихся». Строение древних аласов в плейстоценовой криолитозоне, как и в современных – в Центрально-Якутской котловине – это чаша протаивания, в центре которой находилось сформировавшее ее озеро (обеспечивающее таликовую зону в ее пределах). Почвы находятся в условиях сезонного промерзания. В приозерной части характерно переувлажнение и оторфовывание. Далее от центра, по мере снижения грунтового увлажнения, формируются луговые и дерново-луговые почвы. Самые высокие отметки в краевой прибортовой части аласа занимает пояс мезоморфных аккумулятивного облика почв – черноземы. В пределах озерных котловин создавались возможности и для произрастания древесных пород – березы древовидной, ольхи и др. Исследователи, обнаруживающие в тундре остатки погребенной древесины вплоть до побережья океана, объясняли это фронтальным продвижением лесов на север в результате потепления климата (как во время МИС 3). Древние аласы «времени мамонта» представляли собой настоящие оазисы почвенно-растительной жизни, создавая возможность существования большого разнообразия животного мира на фоне вмещающих их громадных пространств плейстоценовой мерзлотной полигональной тундростепи. На определенном этапе существования этих удивительных ландшафтов наступают необратимые перемены. Происходит деградация и исчезновение озера – главной «отопительной системы» аласа. Окружающая мерзлота внедряется в аласную котловину что запускает процесс отундровения с последующим формированием в этой толще решетки ледяных жил – ЛК (менее мощных, чем в едоме, но более массивных, чем в аласах последующего голоценового времени. Ледовый комплекс плейстоценовых аласов – это одно из обстоятельств, затрудняющих в современных ландшафтах отличительную идентификацию древнего аласа в толще стенки обрыва, венчаемого едомой – ледового комплекса МИС 2. Гибель плейстоценовых аласов вынуждает мамонтов покидать эту территорию. В последующий этап времени МИС 2 процесс осадконакопления захватывает всю территорию Берингской суши. В начале голоцена активизация тектонических процессов выводит из-под уреза древние олерские толщи – в верховьях р. Бол. Хомус-Юрях, в среднем течении рек Алазеи и Бол. Чукочей. Лавинный термокарст раннего голоцена (в гумидных условиях территорий, где пробудившийся океан достигает современных границ суши) приводит к формированию вторичных аласных равнин с господством глеевого гидроморфного почвообразования на междуречьях. Сохранившиеся в современных ландшафтах массивы едом находятся на востоке и юго-востоке Колымской низменности (Чукочья едома в правобережье этой реки и Омолона-Аньюнской едома – в правобережье Колымы и ее правых притоков. Эти массивы едомы, выходят в обрывах рек высокими вертикальными стенками сверху донизу пронизанными мощной решеткой ледяных жил. А как сказало голоценовое потепление межледниковья на судьбе этих

уцелевших ледяных толщ? Оно сформировало на поверхности едом высокольдистый покровный слой, срезающий «головы» ледяных жил. Этот покровный слой является в регионе материнской породой для уникальных криогидроморфных неглеевых почв – криоземов (в понимании И.А. Соколова). Плейстоценовые аласы обнаруживаются в грунтовых обрывах рек – как в ареале едом, так и в пределах доминирующих по площади аласных равнин. Наиболее известное обнажение – в первом случае – Дуваный Яр на Колыме. Здесь в течение полувека работали коллективы специалистов разного профиля – криолитонологи, мерзловеды, геоморфологи, палинологи, палеонтологи, палеоботаники, почвоведы и др. Обнажение длиной около 4,5 км выходит к реке, где серия грунтовых яров, вложенных в едому, чередуется с ледяными стенками едомы и провалами на месте голоценовых аласов. В основании грунтовых яров на большом протяжении обнаруживаются толщи погребенных торфяников и гидроморфных почв с признаками оглеения. Это эпицентр древних аласов, срезанных рекой, а другая половина аласной котловины с соответствующим набором почв в настоящее время погребена толщей едомы МИС 2, восходящей к бровке водораздела колониями байджежахов. Другое обнажение древнего аласа в правобережье среднего течения р. Алазеи, исследованное коллективом мерзловедов и нами (обнажение №78), находится в ареале голоценовых аласных равнин, на крыле олерского поднятия (выше по течению эти древние толщи выходят в обрыве №77 из-под уреза реки). Здесь сохранилась в высоком обрыве лишь прибортовая часть верхнего аласа, венчаемая значительной мощности монотонной толщей почвы мезоморфного облика. Это чернозем плейстоценового аласа. Таким образом, формирование плейстоценовых аласов Севера происходило в условиях непрерывного существования многолетнемерзлых пород. Наличие «живой плейстоценовой мерзлоты» – так называют криолитонологи сохранившиеся толщи едом – в условиях голоценового межледниковья является свидетельством того, что и в это время климатические условия в регионе принципиально не менялись (в основном происходило некоторое потепление зим). Наличие погребенных остатков древесины в голоценовых аласах не является показателем зонального смещения границы леса до побережья океана. Подтверждается вывод мерзловедов о том, что «на Колымской низменности все экзогенные процессы, в том числе и криогенные подчиняются тектоническому фактору».

УДК 631.48, 911.2, 551.89

РЕЛИКТОВЫЕ ПРИЗНАКИ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО ПЕДОГЕНЕЗА В ПОЧВАХ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ

Фролова Л.С.^{1,3}, Шоркунов И.Г.^{1,2}, Гаранкина Е.В.^{1,2}, Шеремецкая Е.Д.², Лобков В.А.^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1;

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29; ³Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2

l.frolova2000@gmail.com

Эволюция почв послеледниковых ландшафтов центра Русской равнины проходила в условиях контрастного рельефообразования, обусловленного нерегулярными циклами денудации, седиментации, педо- и криогенеза в позднем плейстоцене и голоцене. На ключевых участках «Гнездилово» и «Дубовая роща» Владимирского ополья в детально исследованных разрезах агродерново-подзолистых и агросерых почв выделены четыре группы признаков голоценового и реликтового доголоценового педогенеза. Нижняя (ранняя) группа реликтовых признаков охватывает интервал мощности от 0,85 (2,50) до 1,15 (3,15) м и развита в нижней части тела дневной почвы (горизонты ВТЗ, ВСg). Микроагрегированный, криотурбированный, оглеенный тяжёлый суглинок вмещает три типа карбонатных новообразований: зоны микрокристаллической пропитки основной массы, микрокристаллические инкрустации трубчатых и везикулярных пор и плотные нодулярные

конкреции (0,2-6,0 см) концентрического строения. Вторая (более молодая) группа педогенных реликтов приурочена к вышезалегающей погребенной (и/или резкспонированной) поверхности бескарбонатного среднего суглинка на уровне от 0,20 (1,20) до 0,70 (2,50) м и развита в средней и нижней части тела дневной почвы с частичным наложением на нижнюю группу признаков (горизонты ВТЗ, ВСg). Группа представлена комплексом темно-серых глинистых заполнений полигональной системы вертикальных и субвертикальных плоских пор – срезанных и погребенных склоновыми осадками позднеледникового возраста и/или срезанных и экспонированных на дневную поверхность. Третья группа реликтовых признаков представлена темноцветными суглинистыми заполнениями клиновидных структур в узловых сочленениях полигональных межблочий погребённого палеокриогенного микрорельефа. Как правило, эти признаки сосредоточены в линзах темного зоотурбированного и/или делювиального материала со сложной клиновидно-остроугольной формой нижней границы с резким контактом со вмещающим красновато-светло-бурым пылеватым суглинком. Как вмещающие суглинки, так и темноцветные выполнения линз и клиньев несут следы значительной элювиальной деградации в верхней части. Выше широкими маломощными (0,20 (0,35) – 0,30 (0,60) см) линзами залегают четвертая группа реликтовых признаков – т.н. «вторые гумусовые» горизонты, представленные зоотурбированными темно-серыми пылеватыми суглинками с отчетливыми признаками элювиальной деградации.

В целях хроностратиграфической интерпретации разновозрастных палеопедогенных признаков был заложен буровой профиль по привершинным поверхностям нижнего и среднего яруса междуречий, прослеживающий уровни позднеплейстоценовых палеопочв от опорных разрезов региона: верхнепалеолитической стоянки Сунгирь и Боголюбовского карьера. В этих длительно изучаемых опорных разрезах группой исследователей под руководством А.А. Величко, а также В.М. Алифановым и Л.А. Гугалинской были выделены уровни позднеплейстоценового почвообразования и установлен их возраст. Толща послеледниковых осадков мощностью от 6,2 до 11,5 м вмещает горизонты салынской (MIS5e) и крутицкой (MIS5c) фаз мезинского палеопедокомплекса, сунгирскую (брянскую) палеопочву (MIS3) и по меньшей мере два разновозрастных палеокриогенных горизонта: первый (пластические криодеформации) сингенетичен сунгирской палеопочве, второй (хрупкие клиновидные деформации) пересекает её тело с более молодой погребённой поверхности.

В ядрах скважин бурового профиля нижний уровень почвообразования, соотносимый с горизонтами салынской фазы мезинского педокомплекса Боголюбовского карьера, представлен серией слабо развитых элювиальных и субэлювиальных горизонтов в слюдистых алевролитах. Горизонты салынской фазы педогенеза выклиниваются в северной части бурового профиля на Суздальском плато. Выше по разрезу в керновом материале скважин фиксируется уровень темноцветных педоседиментов с повышенным содержанием углистого материала, предварительно соотносимый с крутицкой фазой мезинского педокомплекса. Наконец, третий уровень позднеплейстоценового педогенеза, связанный с сунгирской (брянской) палеопочвой, прослеживается в керновом материале всех скважин в виде пачки неконтрастно-слоистого оглеенного среднего–тяжелого суглинка средней мощностью 0,5–2 м с нарушенной (уничтоженной турбационными процессами) слоистостью в верхних 20–45 см. Тело сунгирской палеопочвы хорошо воспроизводится во всех скважинах бурового профиля в пределах Владимирского и Суздальского среднерасчленённых плато.

Произведённое стратиграфическое сопоставление групп реликтовых признаков, выделенных в дневных почвах ключевых участков «Гнездилово» и «Дубовая роща» на Суздальском плато, и палеопочв опорных разрезов региона Боголюбовского карьера и верхнепалеолитической стоянки Сунгирь на Владимирском плато методом среднемасштабного бурового профилирования позволило произвести первичную

хроностратиграфическую интерпретацию выделенных групп признаков. Так, установлено, что группа наиболее ранних реликтовых признаков хорошо соотносится по глубине залегания, характерной мощности, морфологии среза и вещественному составу с уровнем сунгирской (брянской) палеопочвы. Вторая группа педогенных реликтов – мелкополигональная система вертикальных плоских пор и их темноцветный глинистый исполнитель (органоминералы) – во Владимирском ополье выделена впервые. Ранее эти признаки оценивались исследователями как результат голоценового почвообразования и часто служили критерием для горизонирования текстурной толщи. Проведённое макро-, мезоморфологическое, литологическое и сравнительно-стратиграфическое исследование позволило уверенно ограничить временной интервал палеопедогенеза первой половиной поздневалдайской эпохи (последняя дегляциация) и предварительно соотнести его с трубчевским педостратотипом. Глубина проникновения плоских пор с мощными органоминералами (до 2.5 м от погребённой и/или реэкспонированной поверхности) значительно превосходит мощность трубчевской палеопочвы, вскрытой в разрезах междуречий бассейнов Десны, Оки, Дона и средней Волги, что развивает дискуссию о палеоклимате, условиях и типе педогенеза времени последней дегляциации Восточно-Европейской равнины. Третья и четвертая группы признаков – темноцветные выполнения «карманов», «клиньев» и линз в средней и верхней части тела дневных серых и дерново-подзолистых почв традиционно рассматриваются исследователями в рамках феномена «второго гумусового» горизонта (ВГГ). Анализ массива радиоуглеродных определений возраста препаратов т.н. гуминовых кислот, выделенных из ВГГ дневных почв Владимирского ополья в 1970–2000 гг., вскрывает по меньшей мере три этапа формирования темноцветных образований. Ранний охватывает интервал 13.2–9.5 тыс. кал. л.н. (с концентрацией во второй половине позднеледниковья и бореальной климатической стадии голоцена), второй зажат в пределах 7.9–6.3 тыс. кал. л.н. и соответствует атлантической стадии и третий ограничен 6.3–3.9 тыс. кал. л.н. – бореальная стадия (Александровский, 2022; Милановский, 2009). Распределение суммарной плотности вероятности в пределах интервалов калиброванного радиоуглеродного возраста ВГГ хорошо согласуется с выделенной простой морфологической последовательностью темноцветных органоминеральных морфонов дневных почв Суздальского плато и позволяет уверенно рассматривать феномен ВГГ в качестве полигенетического слоистого позднеледниково-среднеголоценового образования.

Обоснована полигенетичность дерново-подзолистых и серых почв междуречного комплекса Владимирского ополья, обусловленная последовательным совмещением в теле дневной голоценовой почвы трёх позднеплейстоценовых палеопочвенных тел: одной средневалдайской (сунгирская) и двух поздневалдайских (трубчевская и позднеледниковая палеокриоморфная).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-17-00073 «Перигляциальный литогенез времени последней дегляциации и позднеледниковья и его роль в формировании поверхностных почв центра Русской равнины» (руководитель А.О. Макеев).

УДК 631.4

СОЗДАНИЕ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ПОЧВЕННО-МЕРЗЛОТНОЙ ЛЕТОПИСИ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Шейнкман В.С.¹, Седов С.Н.¹, Андроханов В.А.²

¹Институт криосферы Земли, ФГБУН ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, E-mail: vlad.sheinkman@mail.ru; serg_sedov@yahoo.com

²ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, E-mail: androhanov@issa-siberia.ru

Необходимость надежной базы анализа изменений природной среды вызвал рост интереса к палеогеографическим архивам, содержащим детальную информацию о событиях прошлого. Прежде всего – в отношении позднего квартера: экстраполяция его событий наиболее реальна как база сценариев развития природной среды, и обычно в основу прогностических построений кладется именно она. Среди источников информации для них значимое место занимает феномен почвенной памяти (Таргульян, Бронникова, 2019) – успешно используется он (Velichko, 1990; Bronger et al., 1998) в такой важной континентальной летописи квартера, как лессово-почвенные серии, и это уже принесло весомые результаты на юге Западной Сибири (Зыкина, Зыкин, 2012). Но на севере Западной Сибири поиском палеопочв долгое время не занимались – из-за стереотипа о развитии здесь в квартере ледниковых покровов, под которыми почвы не должны были развиваться. Однако в последние годы взгляды были пересмотрены: с учетом малой влагообеспеченности региона масштаб оледенений резко сократили, и для позднего квартера многие модели стали показывать регион свободным ото льда (Svendsen et al., 2014; Möller et al., 2019). Была обоснована и концепция об отсутствии в нем покровных ледников вообще (Шейнкман и др., 2015; 2020). Из этого следовало: на свободном ото льда пространстве должны возникать условия для развития почв и, возможно, их сохранения. Такой посыл послужил стимулом (Шейнкман и др., 2017) для постановки и проведения работ по поиску плейстоценовых палеопочв на севере Западной Сибири, и как представительный ареал была взята территория между полярным кругом и средним течением Оби, где ранее сторонники ледниковых покровов допускали их распространение. Вскоре были открыт и изучен педокомплекс, образованный в термохрон МИС-5, отделяющий последний 100-тысячелетний климатический цикл, и палеопочвенные уровни, отражающие ход данного цикла – сформированные в интерстадиальный термохрон МИС-3 и в теплые терминальные фазы стадиальных криохронов МИС-4 и МИС-2. Акцент был сделан на изучении криогидроморфных палеопочв, которые, как оказалось, широкое распространены на севере Западной Сибири и могут служить надежными маркерами соответствующих геологических этапов. Проблема состояла в том, что найти такие слаборазвитые палеопочвы бывает непросто. Залегая изначально неглубоко от поверхности, они проявляют себя как реликты, редуцированные в ходе образования вышележащих слоев, и их можно обнаружить лишь при анализе следов взаимодействия палеокриогенных и криопедогенных процессов.

Ранее основное внимание уделялось зрелым профилям почв с богатым набором признаков педогенеза, маркирующих крупные климатические циклы – как в лессово-почвенных сериях, где лессы фиксируют холодные эпохи, а палеопочвы – теплые. Но и криогидроморфные, относительно слаборазвитые палеопочвы оказались информативными, и было решено (Sedov et al., 2022, Sheinkman et al., 2021, 2022) использовать их как базовую основу альтернативы отмеченным сериям, причем как маркер детальных корреляций на почвенных уровнях более низкого ранга – опираясь на широкую встречаемость этих палеопочв. Они ясно фиксировали благоприятные для почвообразования, с условиями высокотемпературной криолитозоны, относительно теплые этапы, контрастирующие с более холодными этапами с проявлением низкотемпературной мерзлоты, маркируемой характерными индикаторами бывшего глубокого промерзания горных пород – псевдоморфозами по полигонально-жильным льдам.

Перед авторами стояла задача разработать методику распознавания тех криогидроморфных палеопочв, которые могли надежно служить маркерами соответствующих этапов. Она была решена в ходе проведенных исследований. Рассмотрим ее решение на примере выявленных в верховьях р. Правая Хетта (бассейн р. Надым) древних педокомплексов вблизи впадения в нее р. Тыха, прорезающей равнину, выполненную в теплую МИС-3, согласно результатам проведенного ^{14}C -датирования, песчаным аллювием, толща которого в холодную МИС-2 была преобразована в процессе глубокого промерзания горных пород (рис. 1).

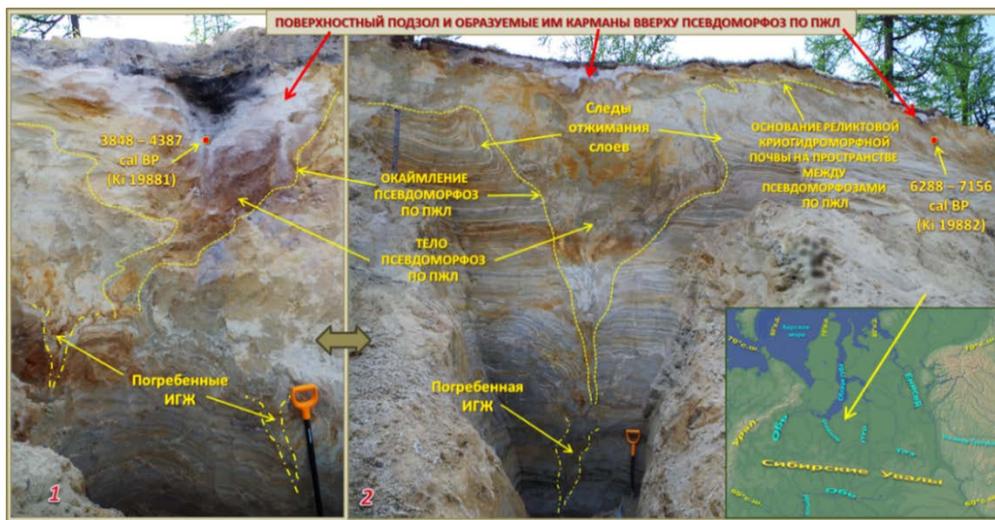


Рисунок 1. Расчистка стенки карьера в верховьях р. Правая Хетта. Фото В.С. Шейнкмана. Сокращения: ПЖЛ – полигонально-жильный лед; ИГЖ – изначально-грунтовая жила.

В расчистке одного из карьеров здесь была вскрыта сеть псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам, а криогидроморфные палеопочвы в виде сизого, обогащённого гумусом горизонта, мощностью в несколько сантиметров, фиксировались на основании прежнего сезонно-талого слоя, маркируя его на пространстве между жилами неглубоко от поверхности (см. рис. 1). Это основание сопряжено с уровнем былых головок полигонально-жильных льдов: в песках такие льды маркируют очень холодное время, и казус в том, что педогенез тогда должен быть слабым. Но, как было выявлено (Sedov et al., 2022, Sheinkman et al., 2021), он активировался в теплую терминальную фазу криохрона МИС-2, и в ходе ее накапливалось больше гумуса в палеопочве. А преобладание сизой окраски в ней связано с оглеением в условиях избыточного увлажнения на основании бывшего сезонно-талого слоя. Важно то, что палеопочва позже была редуцирована под воздействием иллювиального горизонта, лежащего выше подзола, и в представительной форме она сохранилась в заполнении псевдоморфоз как переотложенный педоседимент. Полигонально-жильный лед в песках требует температуры пород -5° - -6° ; с ее повышением в терминальную фазу криохрона он таял, но пока были вмещающие породы мерзлыми, палеопочва оползала по его стенкам, примерзала к ним и захоранивалась, пока не началось – в середине голоцена, судя полученным ^{14}C -датам (см. рис. 1), образование подзолов, развитие которых требует глубокого оттаивания пород.

Важно то, что отмеченные переотложенные педоседименты, как выяснилось (Шейнкман и др., 2019), весьма информативны. Они содержат сохраненные фрагменты гумусовых горизонтов с таким содержанием органического вещества, что его достаточно для получения по нему детальных педогенетических характеристик и проведения ^{14}C -датирования.

Все это позволило выявить особенности и других палеопочвенных уровней, образованных в термохрон МИС-5, в интерстадиальный термохрон МИС-3 и в теплую терминальную фазу криохрона МИС-4, в соответствующих отложениях которого также были обнаружены псевдоморфозы по полигонально-жильному льду. В целом же полученные результаты делают возможным, опираясь на серии чередующихся горизонтов, формировавшихся в формате “тепло – холод”, создать, по крайней мере для позднего квартера, основу почвенно-мерзлотной палеолетописи севера Западной Сибири. Более теплые горизонты маркируются в этом случае криогидроморфными палеопочвами, а холодные, чередующиеся с ними – индикаторами глубокого промерзания горных пород.

(Т) VI КОМИССИЯ. МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

УДК 631.416.8

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АГРОПОЧВАХ ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ ДО И ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ БИОУГЛЯ

Гилёв А.М.¹, Рыбачук Н.А.¹, Брикманс А.В.¹, Нестерова О.В.¹, Сакара Н.А.²

¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,

andrey.gilev2001@mail.ru

²Приморская овощная опытная станция - филиал ФНЦ овощеводства, Владивосток,

nsakara@inbox.ru

Исследование содержания тяжелых металлов в почвах является неотъемлемой частью мониторинга окружающей среды, поскольку они являются самими распространёнными и опасными загрязнителями. Следовательно, оценка качества почв обязательна как для земель с/х назначения, так и для земель населённых пунктов. Аграрный сектор является особенно уязвимым, так как тяжелые металлы могут поступать в конечную продукцию и оказаться на нашем столе. Источники поступления тяжелых металлов в почву могут делиться на естественные (минералы горных пород) и антропогенные (частое использование удобрений и пестицидов, обработка полей техникой, не сертифицированные удобрения и т. д.)

Цель работы состоит в анализе содержания кислоторастворимых форм тяжелых металлов в агропочвах юга Приморского края с применением минеральных удобрений до и после внесения биоугля.

В сельском хозяйстве используется технология внесения биоугля (biochar) как мелиоранта, удобрения и адсорбера, который способен улучшать структуру почвы, её плодородие и также удерживать загрязнители. Сам биоуголь представляет собой остатки природного материала, получаемым путем пиролиза. Он служит не только источником углерода и удобрением для почвы, но и может иметь свойства, позволяющие снижать концентрацию тяжелых металлов в почве. Данная технология в аграрной отрасли начала набирать популярность в странах Латинской Америки, после начали проводить опыты по внесению этого вещества под разные культуры в Америке и в Европе. Влияния биоугля на свойства почв активно изучается как на территории России, в том числе территории Приморского края.

В качестве объектов исследования были выбраны почвы Приморской овощной опытной станции с применением глубокой дренажной системы (120 см) и без неё. Почвы по классификации 2004 года относятся к агротемногумусовым подбелам (*LuvicAnthrosols*), которые характеризуются тяжелым гранулометрическим составом с преобладанием глины легкой и средней, а также средней и слабокислой реакцией среды (рН меньше 6,5). Образцы почв отбирали из гумусового горизонта в начале (май) и в конце (октябрь) вегетационного периода, то есть до и после внесения биоугля в 2018 году. Экспериментальный участок имеет площадь 6 га (200х300 м) и поделен на три части (200х100 м): контроль (без внесения биоугля), с внесением 1 кг биоугля (1 кг/м²) и 3 кг биоугля (3 кг/м²). В качестве минеральных удобрений использовали комплексное удобрение диаммофос с содержанием азота — 10 %, фосфора — 25% и калия — 25 % в дозе внесения 500 кг на 1 га.

Определение содержания кислоторастворимых форм тяжелых металлов проводили по РД 52.18.191–89. Оценкой загрязнения тяжелыми металлами являются ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве (СанПиН 1.2.3685–21).

Исследования показали, что внесение биоугля положительно сказывается на снижение концентраций тяжелых металлов в исследуемой агропочве. В ходе работ было выявлено превышение ОДК цинка на поле без дренажа в начале вегетационного периода, а также в конце вегетационного периода на участках с внесением минеральных удобрений на поле с дренажной системой. Вероятно, это связано с тем, что данные почвы использовались в

севообороте, и остаточные следы цинка до начала вегетационного опыта остались от предыдущих агротехнических работ. На территории Приморского края существуют естественные геохимические аномалии с повышенным содержанием цинка, а значит, необходимо, помимо определения концентрации, изучать и его происхождение. В остальных объектах исследования превышение ОДК исследуемых металлов выявлено не было (таблица 1).

Таблица 1. Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов (мг/кг) в агропочвах до и после внесения биоугля за 2018 год.

Объекты исследования	Pb	Zn	Ni	Cu
май 2018 (до внесения биоугля)				
Дренаж контроль	12,0	55,5	3,2	28,8
Без дренажа контроль	12,0	209,5	2,8	12,2
октябрь 2018 (6 месяцев после внесения биоугля)				
Дренаж контроль	12,0	55,5	3,2	28,8
Дренаж с 1кг/м ² биоугля	6,0 ⁺	78,0 ⁺	2,4 ⁺	8,6 ⁺
Дренаж с 3 кг/м ² биоугля	10,2 ⁺	80,0 ⁺	3,0 ⁺	25,6 ⁺
Дренаж контроль и минеральные удобрения	12,6	399,0	2,8	11,8
Дренаж с 1 кг/м ² биоугля и минеральные удобрения	11,2 ⁺	144,0 ⁺	1,8 ⁺	9,2 ⁺
Дренаж с 3 кг/м ² биоугля и минеральные удобрения	12,6 ⁺	191,0 ⁺	3,0 ⁺	15,0 ⁺
Без дренажа контроль	12,0	209,5	2,8	12,2
Без дренажа с 1кг/м ² биоугля	14,2 ⁺	41,0 ⁺	3,2 ⁺	13,6 ⁺
Без дренажа с 3 кг/м ² биоугля	9,2 ⁺	53,0 ⁺	3,0 ⁺	17,2 ⁺
Без дренажа контроль и минеральные удобрения	11,0	76,0	2,8	10,0
Без дренажа с 1 кг/м ² биоугля и минеральные удобрения	11,6 ⁺	61,0 ⁺	3,4 ⁺	20,0 ⁺
Без дренажа с 3 кг/м ² биоугля и минеральные удобрения	15,0 ⁺	70,0 ⁺	2,8 ⁺	22,8 ⁺
ОДК	65,0	110,0	40,0	66,0

На контрольных участках с дренажом после внесения биоугля в агропочвах были обнаружены следующие изменения: содержание свинца (Pb) снизилось на 6,0 мг/кг при дозе биоугля 1 кг/м² и на 1,8 мг/кг при 3 кг/м², содержание никеля (Ni) снизилось на 0,8 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и на 0,2 мг/кг при 3 кг/м², а содержание меди (Cu) снизилось на 20,2 мг/кг при 1 кг/м² биоугля и на 3,2 мг/кг при 3 кг/м². Содержание цинка (Zn) повысилось после внесения биоугля. На участке с дренажом на снижение концентраций Pb, Ni и Cu оказало влияние обе дозы биоугля. На участке с дренажом при внесении биоугля и минеральных удобрений выявлено: концентрация Pb снизилась на 1,4 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и не изменилась при 3 кг/м², концентрация Zn снизилась на 255,0 мг/кг при 1 кг/м² биоугля и на 208,0 мг/кг при 3 кг/м², концентрация Ni снизилась на 1,0 мг/кг при 1 кг/м² биоугля, и повысилась на 0,2 мг/кг при 3 кг/м², а концентрация Cu снизилась на 2,6 мг/кг при 1 кг/м² биоугля и повысилась на 3,2 мг/кг при 3 кг/м². Таким образом на участке с дренажом и внесением удобрений на снижение концентраций Ni и Cu оказало влияние доза 1 кг биоугля, а на снижение Pb и Zn оказало влияние обе дозы биоугля.

В агропочве на контрольных участках без дренажа содержание Pb повысилось на 2,2 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и снизилось на 2,8 мг/кг при 3 кг/м², концентрация Zn снизилась на 168,5 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и на 156,5 мг/кг при 3 кг/м², концентрация Ni повысилась на 0,4 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и на 0,2 мг/кг при 3 кг/м², концентрация Cu повысилась на 1,4 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и на 5,0 мг/кг при 3 кг/м². На контрольных участках без дренажа на снижение концентраций Zn повлияли обе дозы биоугля, а на снижение концентрации Pb - только доза 1 кг биоугля. На участке без дренажа с минеральными удобрениями содержание Pb повысилось на 0,6 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и на 4,0 мг/кг при 3 кг/м², концентрация Zn снизилась на 15 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и на 6 мг/кг при 3 кг/м², концентрация Ni повысилась на 1,4 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля, и

не изменилась при 3 кг/м², концентрация Cu повысилась на 10,0 мг/кг при дозе 1 кг/м² биоугля и на 12,8 мг/кг при 3 кг/м². На участках без дренажа и с применением минеральных удобрений на снижение концентраций Zn повлияли дозы 1 и 3 кг биоугля, а на концентрацию остальных металлов такого влияния не выявлено.

Наши исследования показали, что наиболее эффективной дозой биоугля для снижения концентрации тяжелых металлов в исследуемых агропочвах является 1 кг/м², особенно это касается участков с наличием дренажной системой. Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и образования № FZNS-2023–0019.

УДК 631.48

КАРБОНАТНЫЕ ПОЧВЫ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ЮГА ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Горохова И.Н.¹, Хитров Н.Б.¹, Круглякова Н.Г.²

¹ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: g-irina14@yandex.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, e-mail: kruglyakova02032013@yandex.ru

Светло-каштановые почвы солонцовых комплексов юга Приволжской возвышенности, как правило, в природе не содержат карбонатов в поверхностном слое. Глубина вскипания от НС1 обычно варьирует в пределах 18-25 см на выпуклых элементах микрорельефа, возрастая до 30-50 см в западинах и ложбинах. Однако в условиях орошения и мелиоративного воздействия ситуация в почвах поменялась. В большинстве своем они стали вскипающими с поверхности. В профильном перераспределении карбонатного материала: во всех почвах (кроме луговых) наблюдается вскипание либо с поверхности, либо с глубины 15–25 см. Существует несколько механизмов появления карбонатов в пахотном горизонте почв, обусловленных антропогенными воздействиями: 1) растворение части карбонатов срединных горизонтов во время поливов и подтягивание растворов в пахотный горизонт с осадением карбонатов при потреблении воды растениями; 2) припашка карбонатных горизонтов при глубоких обработках и в условиях эрозионного смыва части пахотного горизонта; 3) насыпка карбонатного материала на поверхность при планировках поверхности; 4) локальный намыв карбонатного материала с соседних участков при поливе или естественных ливнях; 5) засыпка смешанным преимущественно карбонатным материалом трасс закрытых подземных трубопроводов и временных оросителей. Вторично поверхностно-карбонатные почвы отличаются повышенной плотностью и сухостью пахотного горизонта и обладают неблагоприятными водно-физическими свойствами, для устранения которых необходимы механическое рыхление пахотного горизонта и внесение органических удобрений. Кроме того, образовавшаяся на поверхности после дождей и поливов корка может оказывать существенное влияние на всхожесть сельскохозяйственных культур, поэтому желательно знать масштабы распространенности поверхностно-карбонатных почв на орошаемых землях.

Исследование по выделению ареалов поверхностно-карбонатных почв с использованием космической информации высокого разрешения (Pleiades) проходило на территории ключевого участка опытной станции «Орошаемая» Волго-Донской оросительной системы, расположенной в Волгоградской области. Выделение на космических снимках карбонатных пятен проводилось по точкам поверхностного вскипания почв разной степени от раствора НС1, которое выявлялось контактным способом на с/х полях. Далее осуществлялась установка связи между спектральной яркостью в разных каналах космического снимка в точках вскипания и степенью вскипания почв. Для этого с космических изображений делалась выборка из пикселей, соответствовавших точкам вскипания на местности, которая использовалась при выделении классов на снимке с помощью алгоритма RandomForest.

Было определено, что для выделения ареалов вскипающих с поверхности почв по космической информации оптимально проводить полевые измерения и использовать материалы съемки в засушливый сезон года (май-июль). При обработке снимка следует использовать изображение полей с открытой поверхностью почв. Выделение ареалов карбонатных почв лучше всего проводить в рамках отдельного с/х поля или группы схожих по яркости полей. Разброс яркости с/х полей на космическом снимке возникает из-за разного вида использования земель (богара, орошаемое поле). При таком дифференцированном подходе точность классификации карбонатных почв по степени вскипания (нет, слабое, среднее и сильное) на космическом изображении достигает 0.75-0.90. Новизна результатов работы заключается в обосновании возможности достоверного выделения поверхностно-карбонатных почв при совместном использовании материалов космической информации высокого разрешения и данных полевых обследований.

УДК 631.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ КОРМОВЫХ ТРАВ И ЛЕКАРСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ФАЗЕ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН НА ЗАСОЛЕННОЙ ПОЧВЕ

Зайцева Р.И.¹, Чумакова В.В.², Чумаков В.Ф.², Егоров Ю.В.³

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, elrish@yandex.ru

²Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, г. Михайловск Ставропольского края;

³Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Нами были проведены опыты с целью изучения устойчивости к засолению семенного материала, предназначенного для посева кормовых трав и лекарственных культур селекции Северо-Кавказского научного аграрного центра. Для эксперимента был взят образец А1 чернозёма обыкновенного, среднесуглинистого (Ставропольский край), с содержанием гумуса 3.1 % и величиной МГ 8.4 %. Почву засоляли хлоридом и сульфатом натрия при соотношении анионов первой соли ко второй – 0,5 ммоль-экв/100 г почвы (хлоридно-сульфатный тип засоления). Степень засоления модельных образцов по внесённому количеству соли в % на 100 г составляла: 0.25; 0.375; 0.50; 0.625; 0.75; 1.0; 1.125; 1.25; 1.5. Этому соответствовало осмотическое давление (ОР) почвенного раствора: 1.6 (контроль вода дистиллированная); 2.9; 4.8; 5.9; 7.1; 9.4; 11.4; 14.2; 16.3; 17.8; 23,2 атм. Соли были внесены в составе растворов при подготовке к посеву на «спелой» увлажненной почве. Осмотическое давление определяли экспериментально по вариантам в лабораторном криоскопе по Бекману. Коррелятивная связь между содержанием солей и измеренным ОР при влажности 30±2 % является линейной. В методической статье Зайцевой Р.И. и Фрида А.С., опубликованной в 2018 году, было показано, что в интервале измерения осмотического давления ОР 1.15 атм абсолютное допустимое расхождение составляет 1 атм. Условия проращивания семян сельскохозяйственных культур, сроки определения всхожести, термины и определения установлены в стандартах: ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 20290-74. Всхожесть семян определяется как их способность образовывать нормально развитые проростки. В наших опытах семена проращивали в стеклянных бюксах при соблюдении необходимых условий. Число семян на бюкс зависело от их крупности: для донника и клевера – это 50, для мелиссы и полевицы – 100, для эспарцета и черноголовника 9 и 13, для других 30 или 40 семян на бюкс.

По срокам с допустимыми отклонениями находили постоянное выборочное среднее – долю (Д) всходов от количества посеянных семян. Учитывали проростки длиной от 3 до 5 мм. Экспериментальные зависимости доли Д от ОР аппроксимированы уравнениями регрессии. В таблице приводятся интервалы ОР в числителе, в которых происходило снижение доли Д (всхожести) и соответствующее этой связи число вариантов. В четвертом столбце таблицы

приведены величины предельного OP_0 , рассчитанные из уравнения регрессии для $D=0$, где D – доля всходов от количества посеянных семян. Это предельное OP_0 в отсутствие нормально проросших семян служит критерием для оценки относительной солеустойчивости культур. Чем выше OP_0 , тем устойчивее культура. В таблице культуры расположены в ранжированном ряду в порядке уменьшения предельного OP_0 для всхожести $D=0$.

Таблица 1. Характеристика относительной солеустойчивости культур на основании предельного осмотического давления OP_0 почвенного раствора, рассчитанного для доли нормально проросших семян от посеянных (при $D=0$)

Культура, сорт	Показатели для уравнений регрессии		Предельное $OP_0 \pm s$, атм (для доли $D=0^*$)	Группировка культур на основании предельного OP_0 и критерия существенности разности t <u>интервал</u> среднее
	Интервал OP_0 , атм Доля (D)	Объем выборки по числу вариантов n		
Донник лекарственный, Донче	$\frac{7 - 21}{0.57 - 0.05}$	5	21.1±2.1	21 высокая степень солеустойчивости
Мелисса лекарственная, Ламбада	$\frac{7 - 14}{0.43 - 0}$	3	16.7±1.5	17 – 13 15 средняя степень солеустойчивости
Клевер луговой, Наследник	$\frac{5 - 14}{0.78 - 0}$	4	14.4±0.7	
Козлятник лекарственный, Акварель	$\frac{9 - 14}{0.66 - 0}$	3	14.3±2.8	
Эспарцет виколистный, Русич	$\frac{3 - 11}{0.65 - 0.11}$	4	12.9±0.6	
Полевица гигантская, Дюна	$\frac{7 - 13}{0.54 - 0}$	4	12.4±1.2	
Амарант белосемянный, Каракула	$\frac{5 - 9}{0.68 - 0}$	3	9.4±0.6	12 – 8 10 слабая степень солеустойчивости
Черноголовник многобрачный, Стимул	$\frac{3 - 9}{0.82 - 0}$	4	9.1±1.3	
Ежа сборная, Генра	$\frac{1.5 - 7}{0.76 - 0.07}$	5	7.5±1.6	

* D – доля нормально проросших семян от посевных

Дисперсионный анализ наших данных проведен по методике доктора с.-х. наук А.С. Фрида, которому авторы выражают свою признательность.

Результаты наших опытов, как нам представляется, могут быть использованы для уточнения оценки воздействия такого стрессового фактора, как засоление почвы, на новые сорта кормовых и лекарственных культур в фазе прорастания всходов.

НАЛИЧИЕ КАРБОНАТОВ В ПАХОТНОМ ГОРИЗОНТЕ – КРИТЕРИЙ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВ СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ СОЛОНЦОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГА ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ.

Круглякова Н.Г.^{1,2}, Хитров Н.Б.², Горохова И.Н.², Кравченко Е.И.²

¹ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Волгоград, e-mail: kruglyakova02032013@yandex.ru

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: khitrovn@gmail.com

Предложен критерий антропогенного преобразования почвенного покрова в области распространения светло-каштановых солонцовых комплексов юга Приволжской возвышенности – увеличение доли почв на поле, имеющих вскипание от НС1 с дневной поверхности.

Краткое обоснование.

1. На юге Приволжской возвышенности не характерно вскипание от НС1 с дневной поверхности природных почв. Для исходных светло-каштановых, луговато- и лугово-каштановых почв, а также солонцов глубина вскипания от НС1 обычно наблюдается составляет от 18 до 80 см, редко глубже. Исключением являются ареалы выбросов на поверхность нижних карбонатных горизонтов роющими животными. Доля таких ареалов обычно не превышает 10%.

2. Накоплению карбонатов в пахотных горизонтах способствует несколько процессов, вызванных хозяйственной деятельностью человека: 1) растворение части карбонатов срединных горизонтов во время поливов и подтягивание растворов в пахотный горизонт с осадением карбонатов при потреблении воды растениями; 2) припашка карбонатных горизонтов при глубоких обработках и в условиях эрозионного смыва части пахотного горизонта; 3) насыпка карбонатного материала на поверхность при планировках поверхности; 4) локальный намыв карбонатного материала с соседних участков при поливе или естественных ливнях; 5) засыпка смешанным преимущественно карбонатным материалом трасс закрытых подземных трубопроводов и временных оросителей.

3. Указанные выше процессы приводят к появлению новых компонентов в почвенных комбинациях исходных каштановых солонцовых комплексов. Новые компоненты почвенного покрова имеют карбонатные пахотные горизонты: агроземы аккумулятивно-карбонатные профильно-вскипающие разной степени солонцеватости, агрокаштановые поверхностно-вскипающие, агрокаштановые карбонатно-гумусово-стратифицированные, агросветлогумусовые аккумулятивно-карбонатные карбонатно-гумусово-стратифицированные, агростратоземы поверхностно-карбонатные.

Для оценки антропогенного преобразования почвенного покрова опытной станции «Орошаемая» (Волгоградская область, Волго-Донская оросительная система, пос. Водный) в 2022-2023 гг. выполнены маршрутные и площадные съемки интенсивности вскипания от НС1 поверхности почвы: всего на 20 полях сделано свыше 5.5 тысяч точек измерения с дифференциацией результатов по четырем качественным градациям – нет, слабое, среднее, сильное. Доля карбонатных с поверхности почв на полях хозяйства меняется в зависимости от сочетания природных и антропогенных факторов. Минимальные значения (0-16%) характерны для почв залежей длительностью более 20 лет. Ареалы карбонатных с поверхности почв представлены выбросами на поверхность нижних горизонтов роющими животными. Это фоновый уровень доли карбонатных с поверхности почв в исследуемом регионе. Некоторые поля на склонах были переведены в залежь 10-15 лет назад в связи с интенсивным развитием эрозионных процессов. В настоящее время на них встречается до 79% карбонатных почв. Общая доля карбонатных почв на бессменной богаре, территория которой сложена преимущественно палево-бурыми суглинками, составляет до 40-52%. Основные причины – глубокие мелиоративные вспашки, в результате которых на поверхность вывернута часть карбонатных горизонтов, а также эрозионные процессы.

На орошаемых полях карбонатные с поверхности почвы составляют от 58 до 97%. Обсуждаются причины преобразования почвенного покрова на отдельных полях.

УДК 631.619

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗАТОПЛЕННЫХ ПОЧВ ЛОЖА ВОДОХРАНИЛИЩ

Миннегалиев А.О.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, minnegaliev.aleksandr@rambler.ru

Выявление особенностей почв, на продолжительное время отчужденных и затопленных водохранилищами,

Сложившаяся практика проектирования и строительства водохранилищ не предполагает изъятия почвенного покрова с поверхности будущего ложа. В связи с этим в пределах зон постоянного и периодического затопления формируются трансформированные, метаморфизированные и первичные почвы.

Выявление изменений в затопленных и затопляемых почвах позволит выполнить оценку их воздействия на окружающую среду, в том числе на качество воды, биологическое разнообразие. Кроме того, для гидроузлов, демонтируемых по различным причинам, оценка изменений почвенного покрова будет содействовать принятию корректных проектных решений для целей рекультивации. Следует отметить, что сложившаяся тенденция к демонтажу и рекультивации поверхности ложа малых водохранилищ в последнее время распространяется в результате техногенных и бelligеративных катастроф на крупные гидроузлы.

Для выявления особенностей затопленных почв ложа и выделения последующих проблем, связанных с гипотетической возможностью их рекультивации выполнено исследование почв, формирующихся в зоне периодического затопления Нугушского, Юмагузинского и Слакского водохранилищ, расположенных на территории Республики Башкортостан.

На фоновых незатопляемых и характерных участках осушенного в осенне-зимний период ложа выполнен отбор почвенных образцов. Общепринятыми в почвоведении методами выполнено определение содержания органического вещества, щелочногидролизующего азота, подвижного фосфора, натрия, калия, железа и кислотности, а также гранулометрического и структурно-агрегатного состава. Установлено, что исследуемые почвы имеют выраженные признаки гидроморфизма, исследуемые затопляемые почвы характеризуются повышенной кислотностью, достаточно высоким содержанием азота, фосфора и органического углерода. Содержание основных элементов резко снижается в прибрежной зоне и постепенно увеличивается с возрастанием глубины, при этом не достигая показателей, характерных для фоновых незатопляемых почв. Кроме того, установлено, что для исследуемых затопляемых почв характерны процессы накопления железа и наличие прослоек илового материала на поверхности.

С учетом особенностей изученных почв выделены следующие проблемные вопросы при принятии решений по рекультивации ложа демонтированных гидроузлов:

- повышенная кислотность и высокое содержание железа в затопленных почвах, что усложняет подбор фитомелиорантов;
- наличие илистых отложений, характеризующихся неблагоприятными физическими свойствами, что может привести к усилению процессов эрозии после осушения;
- отсутствие растительности на поверхности сразу после осушения, что может привести к усилению эрозии;
- наличие участков с большими уклонами, что также потенциально усилит эрозию после осушения;
- наличие грунтовых вод, расположенных близко к поверхности, что потенциально усложнит механизированную обработку участков осушения;

- значительная площадь ложа для крупных водохранилищ, что потенциально приведет к увеличению длины разгона ветровых потоков и усилению ветровой эрозии.

(У) ПОДКОМИССИЯ ПО МЕЛИОРАЦИИ ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ

УДК631.42:631.445.124

ОСУШАЕМЫЕ ТОРФЯНЫЕ ПОЧВЫ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Инишева Л. И.¹, Порохина Е. В.¹, Антоненко С. А.², Ефимова С. А.¹

¹ Томский государственный педагогический университет, Томск, e-mail: inisheva@mail.ru;

² МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Торфяные почвы привлекают внимание своеобразными условиями образования и развития, накоплением колоссальных масс органического вещества. Это, безусловно, объект мелиорации, так как в естественном состоянии эти угодья практически не дают какой-либо сельскохозяйственной продукции и проявляют высокое плодородие после регулирования водного и пищевого режимов.

В Сибири мелиорируемые торфяные почвы занимают площадь примерно 1,5 млн. га, из которых на долю лесомелиорации приходится 70 % площади, рекультивированных торфяных месторождений из-под добычи торфа – 2 %, остальная площадь занята сельскохозяйственными угодьями. Их осушение, как правило, проводится открытыми каналами, системами закрытого типа (гончарный и пластмассовый дренаж). Первый опытно-мелиоративный пункт, к примеру, в Томской области был основан в 1936 г. в Бакчарском районе на болоте Суховское. Первоначально территория была представлена лесными кочкарно-осоковыми (согра) и чистыми осоково-гипновыми (понжи) типами болот. На площади 588 га была проложена осушительная сеть с межканальным расстоянием 100 м и глубиной от 1 до 1,8 м. На небольшой площади осушенного болота был заложен закрытый жердевой дренаж. Исследовалось влияние генезиса болот, интенсивности дренажа на урожай сельскохозяйственных культур. Получены были первые обнадеживающие результаты по экономической эффективности осушения на низинных болотах южно-таежной подзоны Западной Сибири.

Инвентаризация существующих мелиоративных систем, проведенная в 1966-68 гг., показала частичную, а иногда и полную их непригодность для использования в сельскохозяйственном производстве. Например, из 400 тыс. га осушаемых земель в Барабинской низменности (Новосибирская область) на балансе было оставлено 60,9 тыс. га. С 1971 по 1975 гг. предусматривалось выполнить культуртехнические работы на 182 тыс. га, осушить 12 тыс. га земель, а к 2000 г. осушаемую площадь планировалось довести до 2,63 млн. га.

В 1981-85 гг. осушение земель сельскохозяйственного использования получило максимальное развитие, вводилось ежегодно по 270 тыс. га осушенных земель. В Сибири осушение интенсивно проводится в Тюменской, Томской, Новосибирской областях. Так, в Томской области площадь осушаемых земель планировалось довести до 40 тыс. га. Объем проектно-изыскательских работ по мелиорации за эти годы увеличился более чем в 5 раз. Проводилось проектирование объектов осушения с использованием под травы (открытая сеть) и под овощи (закрытый материальный дренаж), польдерных систем с машинным водоподъемом.

В этот период особенно активно развивалась и мелиоративная наука. Так Западно-Сибирским филиалом ВНИИГиМа были построены опытные мелиоративные системы в Томской области (объекты “Казанка”, “Верхний луг”, “Открытое болото”, “Верхние луга”), в

Тюменской области (объекты “Решетниково”, “Ернякуль”, “Усалка”). На стационарах были начаты многолетние исследования. За это время были изучены водно-физические, химические, агрохимические свойства торфяных почв, разработаны параметры осушения открытыми каналами, дренажной сетью, а также в условиях дренажа с двусторонним регулированием водного режима. Оригинальные эксперименты, отвечающие мировому уровню, позволили доказать приоритетность оптимизации режимов почв по отношению к созданию оптимизации условий вегетации растений, что использовано в современной теории адаптивно-ландшафтного земледелия. Значительный научный интерес для мелиоративной науки представляют полученные результаты о существовании возможности достоверного контроля начальных стадий разрушения органических веществ (ОВ) торфов и сработки торфяной залежи с помощью микробиологических и энзимологических параметров, что послужило основой для разработки шкалы оценки экологического состояния мелиорируемых почв. В настоящее время исследование этих процессов имеет продолжение (РНФ № 24-26-00161, <https://rscf.ru/project/24-26-00161/>).

Была также обоснована целесообразность организации замкнутого водооборота на осушаемых объектах. Полученные результаты получили высокую оценку, были реализованы в рекомендациях, в том числе, утвержденных НТС Минводхоза СССР, вошли в отраслевые нормативные документы по проектированию и строительству мелиоративных систем и внедрены в проектирование.

Но везде ли мелиорация в Сибири была эффективна? К сожалению, не всегда. И связано это было прежде всего с неправильным выбором объектов мелиорации, который часто проводился случайно, либо выбирался тот объект, который хозяйству не пригодится даже в перспективе, отсутствовала и заинтересованность директоров хозяйств в мелиорации. Но надо отметить, что при всех недостатках, вложения в мелиорацию Сибири в доперестроечный период очень помогли селам, поселкам и деревням, т. к. существенная их часть шла на укрепление материально-технической базы передвижных механизированных комплексов (ПМК) и строительство в населенных пунктах. Жаль только на короткий период. В настоящее время на всех объектах осушения прогрессирует вторичное заболачивание. Причин этому много и они достаточно основательно уже рассмотрены в научной литературе. Какова перспектива? Как всегда, все придется начинать сначала. И прежде всего, необходимо иметь систему взглядов и стратегию действий, как мы это будем делать. Начать следует с инвентаризации осушаемых торфяных болот и далее с определения восстанавливаемого фонда осушаемых земель для приведения в порядок осушительной системы с модернизацией оборудования. В этот период будут востребованы результаты исследований, которые были получены, когда термин “мелиорация” исчез из обихода. Например, в Томской области за это время были разработаны эколого-хозяйственные фонды торфяных болот, определены критерии отнесения их к охраняемому фонду и, наконец, был выделен природоохранный фонд области, который насчитывает 140 торфяных месторождений. Из них 11 находятся на территории Государственных комплексных памятников природы, торфяное месторождение Поль-то отнесено к водным памятникам природы, 10 – находятся на территории кедровников, 38 – входят в состав заказников. А это значит, что в области может быть уже определен также разрабатываемый, запасной, земельный и резервный фонды.

УДК: 631.44

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСУШЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ГИДРОМОРФНЫХ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ РОССИИ РАЗНЫМИ ВИДАМИ ДРЕНАЖА

Ковалев И.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, e-mail: kovalevmsu@mail.ru

В РФ из 220,5 млн га сельхозугодий (20 %) переувлажнены и заболочены, что резко снижает производство сельскохозяйственной продукции. Решением таких негативных последствий, особенно в зоне гумидных ландшафтов, является дренаж. На современном этапе развития науки необходимо создание мониторинга осушенных земель России. Только наличие комплексной информации о свойствах и режимах естественных, осушенных почв и почв геохимически сопряженных ландшафтов позволит оценить целесообразность развития осушения на сельскохозяйственных землях России, выбрать оптимальный способ и метод осушения гидроморфных почв. Практически повсеместно в последние годы в практике осушения почв разных регионов применяется пластмассовый дренаж. Однако, сведения о его длительном воздействии на эволюцию и функционирование почв в целом, и серых лесных почв ополей в частности, а также на развитие ландшафтов и при использовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия весьма ограничены или отсутствуют вовсе. Более того пестрота почвенного покрова, обусловленная первичной неоднородностью водного режима, степенью заболоченности почв, гранулометрическим составом усугубляется вторичной гидрологической и литологической неоднородностью, возникающей под влиянием дренажа, что требует подробного изучения. Исследования проведены в Ступинском районе Московской области на светло-серых лесных (агросерых) глееватых почвах. Здесь осенью 1989 г. был создан уникальный экспериментально-мелиоративный полигон по проекту «Мосгипрводхоз», где есть возможность изучать изменение свойств и режимов почв по отношению к первому году действия дренажа на протяжении уже более 30 лет. Исследования приурочены к фиксированным точкам наблюдений и проведены одними и теми же методами в разные годы обеспеченности осадками, начиная с 1988 года. Дренажные системы, площадью 2–4 га каждая, строились в 3-х кратной повторности для каждого варианта опыта: 1-й – светло-серые лесные глееватые почвы, осушенные пластмассовым дренажом с помощью дреноукладчика МД-4 на глубину 100-120 см и 2-й вариант - эти же почвы, осушенные гончарным дренажом с помощью дреноукладчика ЭТЦ - 202 на ту же глубину с междренним расстоянием - 16 м. Дополнительно рассматривались эколого-гидрологические условия, свойственные светло-серым лесным (агросерым) глубокооглееным и глееватым почвам с естественным водным режимом. Все исследованные почвы сформированы на близких или тождественных по гранулометрическому составу породах – крупнопылевато-иловатом покровном суглинке. Также исследования проводили в Котельничском районе Кировской области на дерново-глееватых и перегнойно-глеевых почвах, приуроченных к пермским красноцветным карбонатным породам. Наблюдения показывают, что дренаж во влажные, средние и сухие годы оказывает весьма существенное влияние на режим влажности глееватых почв. При наличии дренажа в глееватых почвах не только устраняется двухъярусная верховодка, но обычно исчезает гравитационная влага из нижних горизонтов. Влажность почвы при этом на протяжении большей части вегетационного периода оказывается в оптимальном диапазоне – наименьшая влагоемкость-влажность разрыва капиллярной связи (НВ-ВРК). Окислительно-восстановительный потенциал возрастает до 420–470 мВ, обеспечивая господство окислительной обстановки на протяжении сухого периода. Выявлены определенные различия в действии траншейного гончарного и бестраншейного пластмассового дренажа. На протяжении пяти контрастных по влажности лет показано, что с помощью гончарного и пластмассового дренажа может быть достигнут близкий или тождественный эколого-гидрологический эффект. На серых лесных глееватых почвах, наиболее распространенных минеральных гидроморфных почвах зоны широколиственных лесов, без дренажа складываются весьма стихийные условия. Урожайи здесь нестабильны и колеблются весьма в широком диапазоне, вплоть до вымокания озимых. На осушенных серых глееватых почвах формируются благоприятные условия для возделывания культур полевых севооборотов, особенно озимых культур. Оценка разности средних по урожайности культур на почвах,

осушенных этими двумя видами дренажа, показывает, что различия не достоверны при 5 % и, как правило, при 1 % уровне значимости. Действие разных видов закрытого дренажа способствуют увеличению водопрочности структуры, в том числе и в нижних слоях. Так, на 19-й год последствия дренажа содержание агрономически ценных агрегатов увеличивается по профилю независимо от вида дренажа. Осушение и подземная биомасса растений способствует увеличению количества агрономически ценных агрегатов не только в верхних горизонтах профиля, но и в нижних. По кривым ОГХ были рассчитаны распределения объемов пор по размерам и по функциям. Осушение оказывает влияние на увеличение пор инфильтрации, аэрации и влагопроводящих пор особенно в иллювиальных горизонтах. Значения Кф связаны с распределением объемов пор по размерам и по функциям. Под воздействием осушения заметно повышаются значения Кф, установленных как методом Хануса, так и методом рам. Перед строительством дренажа серым лесным глееватым почвам были свойственны низкие и средние значения вертикальной фильтрации (0,1–0,3 м/сут), после осушения – средние и высокие. Дренаж интенсифицирует вынос с дренажным стоком тонких фракций мелкозема. В первые годы не установлен статистически значимо вынос ила. За 30-летний период действия дренажной системы, можно говорить лишь о тенденции миграции илистой фракции. Дренаж приводит и к активизации микробиологической деятельности, которая прямо регистрируется по увеличению длины грибного мицелия и общей биомассы микроорганизмов и косвенно – по увеличению доли диэфиров микробного происхождения на ^{31}P ЯМР-спектрах, а также по увеличению содержания аминокислот и мурамина в почвах ($p < 0.95$). В результате произошла и деструкция лигнина в агроэкосистемах. Согласно величинам отношения лигнин/к азоту в осушенных почвах наблюдается и преобладание метаболического углерода над ароматическим. Сумма продуктов окисления лигнина падает ($p < 0.95$). Возрастает ($p < 0.99$) степень окисленности (отношение сиреневые кислоты/к сиреневым альдегидам) и степень измененности боковых цепочек лигнина (VSC) по отношению к исходным растительным тканям. В результате, наблюдается увеличение соотношения Сгк:Сфк в гумусовых горизонтах. Данный факт подтверждается и увеличением на 30 % площади пика углерода карбогидратов в области 60–106 ppm, по результатам ^{13}C ЯМР-спектроскопии, в молекулах ГК агросерых глееватых осушенных почв. В период эффективного действия дренажа происходит изменение гумусного состояния агросерой глееватой почвы, которая по показателям биогенности и биоактивности становится похожа на глубокооуглеенную автоморфную почву. Под влиянием разных видов дренажа в динамике по годам относительно первого года последствия дренажа биокинетические параметры минерализуемого пула органического вещества почв такие как микробная биомасса зависит от влажности года. Однако базальное дыхание и дыхательный коэффициент показывают однозначное уменьшение относительно первого года действия дренажа.

Итак, с помощью гончарного и пластмассового дренажа может быть достигнут близкий или тождественный эколого-гидрологический эффект. Осушение разными видами дренажа существенно изменяет гидрологический и ОВП режимы, физические и химические свойства, гумусное состояние минеральных заболоченных тяжелосуглинистых почв, в результате формируются новые агроэкологические условия, благоприятные для ведения сельскохозяйственного производства.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23–24–00155.

УДК 631.46

ТРАЕКТОРИИ ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА БОЛОТНОГО МАССИВА В УСЛОВИЯХ КОНТРАСТНЫХ ВАРИАНТОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (ТАРМАНСКИЙ БОЛОТНЫЙ МАССИВ, ТЮМЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Курасова А.О., Константинов А.О., Солдатова Е.А., Новоселов А.А., Плотникова Е.С.
Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, kurasovalina@gmail.com

Болотные ландшафты Западной Сибири распространены в широком спектре природных зон, от тундры до лесостепи и степи (Болота Западной Сибири, 2000; Kirpotin et al., 2009). Как и в случае других регионов мира они подвергаются интенсивной трансформации в результате деятельности человека, особенно в южной части макрорегиона, в наиболее заселенных и урбанизированных районах (Инишева и др., 2007). Одним из таких объектов является Тарманский болотный массив, находящийся в непосредственной близости от агломерации города Тюмени. Тарманское болото, общей площадью 125,8 тыс. га, и являющийся одним из крупнейших мелиорированных болот Западной Сибири, играет значительную роль в формировании гидрологического режима всей территории Тура-Тавдинского междуречья (Шемякина, Симакова, 2018).

В работе представлены результаты исследований почвенного покрова и морфологических особенностей почв Тарманского болотного массива. Разнообразие выбранных для исследований участков, а также их почвенных и ландшафтных особенностей, в значительной степени определяется характером современного, а также исторического землепользования. Анализируя особенности почвенного покрова и строения отдельных почвенных профилей, можно отметить, что исследованные участки могут быть условно разделены на три группы. В первую группу входят участки I и III. Они представляют собой субгоризонтальные поверхности, обособленные хорошо выраженными, хотя и по большей части безводными, дренажными каналами. При этом следует отметить, что в составе почвенного покрова первого участка преобладают агроторфяно-глееземы минерально-торфяные (PTmr-T-G-CG), а третьего - агроземы торфяно-минеральные окисленно-глеевые (PTR-Cox). Несмотря на различия в классификационной принадлежности почв рассматриваемых участков, в целом развитие этих двух чеков имело схожую историю. Второй участок (II) расположен на территории длительно функционирующего сенокоса в непосредственной близости от крупного ПГТ, здесь были выделены специфические особенности почв и ландшафтов. Высокая интенсивность преобразования почв и растительности данного чека, по всей видимости, обусловлено изначально небольшой мощностью торфяной залежи. Для облика данной территории характерно наличие выположенной поверхности сенокосного луга с преобладанием мятликов, ограниченной заросшими кустарниковой формой ивы или зарослями борщевика смежных выделов. Поверхность имеет незначительный уклон к востоку. Периферия участка ограничена неглубокими, сухими и полностью заросшими дренажными каналами, иногда, даже не выделяющимися в ландшафте. Для почв рассматриваемой территории характерна высокая степень контрастности. Встречаются как агроторфяно-глеезёмы окисленно-глеевые, так и агродерново-элювозёмы глеевые орудинелые. Гипотеза изначально периферийного положения данного участка и небольшой мощности исходной торфяной залежи подтверждается морфологическим обликом почвы, проиллюстрированной разрезом ТБМ-4. Для данного профиля характерно наличие агродерново-элювозёма глеевого орудинелого, отдаленно напоминающего текстурно-дифференцированную почву, где роль текстурного горизонта играет ортзанд, сформировавшийся в периферийной зоне болота. Качественно иной облик имеют почвы и ландшафты участков IV и V. Если чек IV представляет собой обособленный участок лесомелиорации, то участок V является изолированным фрагментом исходного болота, лишь косвенно затронуты осушительной мелиорацией за счет общего снижения уровня грунтовых вод. Для первого из рассматриваемых участков характерно преобладание регулярных посадок березы с развитым травянистым ярусом. Для второго – тростниково-камышового болота с зональным зарастанием ивой. Мелиоративная система участков, хотя и характеризуется отсутствием воды в дренажных каналах, находится в достаточно хорошем состоянии, что возможно обуславливается непосредственной близостью к магистральному каналу. Для двух участков характерно преобладание торфяных эутрофных типичных почв (за исключением разреза ТБМ-12), характеризующихся стратифицированной толщей

органогенных горизонтов (ТЕ-ТТ). В случае участка лесомелиорации, можно отметить, что мощность торфяной залежи в целом не превышала 1 м, что косвенно могло стать причиной подобной траектории развития участка, поскольку небольшая мощность залежи ограничила потенциал участка для добычи торфа фрезерным способом. Данный фактор, возможно, сыграл ключевую роль в сохранении исходной морфологии профиля и отсутствии выраженных механических нарушений. Для участка V характерна значительная (более 1 м) мощность торфяной залежи. В целом почвы двух вышеперечисленных участков имеют характерный облик для торфяного эутрофного болота, характеризуются отсутствием прямых механических нарушений профиля и демонстрируют умеренный вариант природно-антропогенной эволюции.

Изученные варианты природно-антропогенной эволюции почв достаточно контрасты, могут быть условно подразделены на i) интенсивные с полной потерей почвами исходных черт, свойств и утратой естественной последовательности генетических горизонтов, ii) умеренные, проявляющиеся в виде частичной трансформации профиля и свойств и iii) умеренные, когда сохраняется морфологический облик, но даже косвенное воздействие масштабных мелиоративных мероприятий приводит к планомерной, хотя и относительно медленной трансформации экосистем и их компонентов.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ 23-77-10012.

УДК 631.461:631.445.53:633.26/.29

ИЗМЕНЕНИЯ В МИКРОБНОМ СООБЩЕСТВЕ СОЛОНЦОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФИТОМЕЛИОРАЦИИ

Риксен В.С.¹, Коробова Л.Н.²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., e-mail: riclog@mail.ru;

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, e-mail: lnkorobova@mail.ru

Засоленные почвы в Сибири занимают сравнительно большие площади – примерно 20 % сельскохозяйственных угодий юга Западной Сибири. Половина угодий – это сенокосы и пастбища. Продуктивность природных сенокосов на солонцах низкая: в лесостепи 3-5 ц/га, в степи -1,5-3,0 ц/га сена ненадлежащего качества. Основная доля засоленных почв приходится на Барабинскую равнину, которая занимает 65,5 % площади Новосибирской области.

Окультуривание таких почв связано с их изменением с помощью гипса или длительной фитомелиорацией. Эти приемы удаляют натрий из солонца и трансформируют его биологическую составляющую. Длительное использование трав как фитомелиорантов экономически выгоднее, чем внесение фосфогипса. Используют их преимущественно в кормовых фитомелиоративных севооборотах.

Целью данного исследования является изучение изменений в микробном сообществе солонца черноземно-лугового мелкого Барабы, которые были вызваны длительным возделыванием фитомелиоративных севооборотов с донником и коострецом.

Исследования проводили в Барабинской равнине на стационаре СФНЦА РАН (СибНИИКормов) в Чановском районе Новосибирской области в 2020 гг.

Объекты исследований – солонцы черноземно-луговые мелкие средненатриевые столбчатые с содово-сульфатным типом засоления и их микрофлора. Изучаемые солонцы гидроморфные, уровень залегания грунтовых вод колеблется от 410 см до 200-300 см, гранулометрический состав тяжелосуглинистый. Вскипание карбонатов от HCl наблюдается с глубины 41 см. Почвообразующими породами являются палево-светло-бурые опесчаненные карбонатные незасоленные средние суглинки, в которых преобладает фракция мелкого песка и очень низкое содержание пылеватых фракций.

Размещение вариантов в севооборотах рандомизированное, площадь делянок 200 м², повторность 4-х кратная. В период ротации почва обрабатывалась ПН-4-35 со стойками СибИМЭ на глубину 20–25 см, после ротации на глубину 30–35 см. На участках с многолетними травами применялись БДТ-3,0 в 2 следа и ФБН-1,5 в 1 след на глубину 8–10 см с последующим рыхлением ПН-4-35 со стойками СибИМЭ. Для закрытия влаги использовались бороны БЗТС-1,0. Посев коостреца весной борошили БИГ-3,0 в 2 следа, посев донника 2-го года жизни – в 2–3 следа.

На солонце изучены варианты: 1) целина; 2) донник второго года жизни (поле 2 в севообороте № 2); 3) коострец безостый 4-го года жизни в севообороте № 7.

Почвенные образцы из слоев 0-20 и 20-40 см (на целине 0-15 и 15-40 см) для учета микрофлоры отбирали в первых числах августа (после 1 укоса). Отбор проводили буром на нечетных повторениях по диагональной трансекте, после чего из 10 отобранных проб с варианта делали смешанный образец почвы.

Таксономическую принадлежность бактерий выявляли на базе ИХБФМ РАН в ЦКП «Геномика» (г. Новосибирск) методом высокопроизводительного секвенирования последовательностей участка V3–V4 гена 16S рРНК. Тотальная ДНК выделялась с помощью набора DNeasy PowerSoil Kit (Qiagen). Для механического разрушения образца использовался TissueLyser II (Qiagen) 10 мин при 30 Гц. Качество ДНК оценивалось с помощью электрофореза в 1%-м агарозном геле, количество ДНК – на Quibit (Life Technologies) и на Nanodrop (Thermo Fisher Scientific). Участок V3-V4 гена 16S рРНК амплифицировался с помощью праймеров 343F (5'-CTCCTACGGRRSGCAGCAG-3') и 806R (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT-3'), содержащих адаптерные последовательности (Illumina), линкер и баркод. Таксономическая принадлежность последовательностей OTU определялась с помощью SINTAX с использованием 16S RDP training set v16 в качестве референсной базы.

Значимость различий в представительстве отдельных таксонов доказывалась с помощью U-критерия Манна-Уитни, α -разнообразие бактерий анализировали Usearch v11.0.667.

33-летняя фитомелиорация солонца мелкого севооборотами вызвала существенные сдвиги в сообществе почвенных бактерий и архей. Одновременно использование кормовых севооборотов изменило в солонце мелком число геномных последовательностей (ОТЕ) и видовое разнообразие бактерий. Это проявилось сильнее под севооборотом с донником, где число видов относительно целины увеличилось в слое 0-20 см в 1,5 раза, в слое 20-40 см в 2 раза. Под севооборотом с коострецом видов стало больше на 30 %. Совокупный материал 16S рРНК (ОТЕ) в среднем по слоям был представлен под коострецом на уровне целины – 20739 / 0,5 г почвы, под севооборотом с донником возрос на 2474.

Чувствительными к снижению величины рН и содержания солей в почве были 5 филумов (типов) бактерий: *Acidobacteria*, *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Verrucomicrobia* и *Gemmatimonadetes*. Под донником доля ацидобактерий возросла до 30,3 %, и они стали основным доминирующим типом (рис. 1), сократилась в 2,2 и 1,8 раза (по слоям) доля актинобактерий, что связано с уменьшением биомассы трудно разлагаемых остатков, увеличилась численность почвенных протеобактерий, отвечающих за улучшение азотного обмена, особенно в слое 20-40 см (на 164,9%). Многочисленнее в 2 и 8,3 раз стали *Verrucomicrobia* – тип, сильно реагирующий на увеличение органического вещества почвы. Похожие изменения отмечены в микробиоме солонца мелкого, трансформированного коострецовым севооборотом. Вследствие влияния самой культуры и обработки почвы здесь, вероятно, частично иссушился верхний слой солонца, о чем свидетельствует возросшая на 41,4 % численность гемматимонадет.

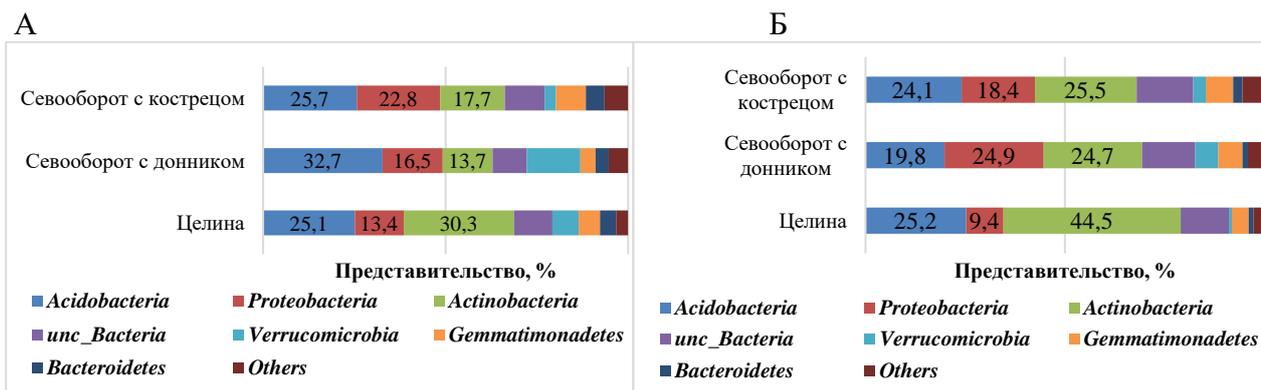


Рисунок 1 – Состав доминирующих филумов в микробиоме целинного и мелиорированного севооборота солонца мелкого Барабы

Примечание. А - слой почвы 0-15 см для целины и 0-20 см для севооборотов, Б - 15-40 и 20-40 см

В доминирующем филуме *Acidobacteria* положительно отреагировали численностью на снижение величины рН и содержания солей роды *Gp1*, *Gp3*, *Gp7*, в *Verrucomicrobia* – род *Spartobacteria_genera_incertae_sedis*. Совокупно *Gp1+Gp3+Gp7* возросли под донником в верхнем слое почвы в 2,8 раза, в нижнем в 9,8 раз, под кострцом в 3,8 и 8,3 раз. Род *Spartobacteria* увеличил представительство в подсолонцовом горизонте севооборотов в 10,4 и 6,2 раза. Среди актинобактерий на изменение почвенных условий отреагировал снижением численности в 1,9 и 2,2 раза класс *Thermoleophilia* (включающий солелюбивый род *Gaiella*). В сообществе почвенных бактерий под севооборотами изменились показатели α -разнообразия. Здесь в сравнении с целинным солонцом снизился индекс Бергера-Паркера, отражающий степень доминирования (в 1,3 и 2,3 раза в слоях почвы), возрос индекс $Chao1$, характеризующий богатство таксонов в сообществе (в 1,5 и 1,9 раза под донником и в 1,2 и 1,5 раз под кострцом) и на 9% и 17% увеличился индекс Шеннона, описывающий наряду с видовым богатством выравненность сообщества. На основании этого можно считать, что сообщество прокариот, сформированное в солонце мелком длительным возделыванием фитомелиорантов, стало сложнее, чем в целинном солонце мелком.

(V) ПОДКОМИССИЯ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Абакумов Е.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, каф. Прикладной экологии, 1991787, Санкт-Петербург, 16-я линия В.О., д. 29, e_abakumov@mail.ru

Северо-Запад России, включающий Ленинградскую, Новгородскую и Псковскую области, а также Санкт-Петербург, характеризуется чрезвычайно разнообразными геогенными условиями, что определяет специфику почвенного покрова. Разнообразие почвообразующих пород региона увеличивается за счет техногенных отложений, формирующихся в ходе добычи полезных ископаемых. В связи с этим на поверхности оказываются породы дочетвертичного происхождения, совершенно не типичные для голоценовых ландшафтов. Восстановление почв проходит, преимущественно по траектории самозарастания, рекультивация, там где она проводится, является, в основном лесохозяйственной. Проведено исследование хроносерий педогенеза в различных субстратно-фитоценологических комбинациях и изучение экогенетических сукцессий на отвалах самых разнообразных карьерно-отвальных комплексов. Наибольшая интенсивность инициального почвообразования характерна для отвалов, сложенных породами легкого гранулометрического состава, здесь достаточно быстро формируется эмбриозем подзола. В случае нетоксичных пород легкого гранулометрического состава и положительных форм рельефа наиболее успешной стратегией восстановления почв является природная экогенетическая сукцессия. Наиболее долго дифференцируются профили почв на кембрийских глинах, известняках и массивно-кристаллических породах. В этом случае для рекультивации необходимо нанесение вскрышных пород легкого гранулометрического состава с целью оптимизации физических параметров корнеобитаемого слоя. Отдельной проблемой рекультивации земель в регионе является постепенное естественно затопление карьерно-отвальных комплексов после прекращения функционирования добывающих комплексов, откачивавших или отводивших воды. Так, огромные площади рекультивированных земель карьеров по добыче фосфорита оказались заболоченными и в настоящее время происходит деградация рекультивированных лесных экосистем. Еще одной экологической проблемой является пылевое загрязнение ландшафтов в районах проведения взрывотехнических работ на севере Карельского перешейка. Здесь пылевое загрязнение распространяется в пределах двадцатикилометрового радиуса. Кроме того, глубокие карьеры изменяют гидрологический режим сельговых ландшафтов, приводя к их иссушению. Таким образом, трансформация экосистем происходит не только в местах непосредственной добычи полезных ископаемых, но и на обширных прилегающих площадях. В связи с этим стратегия рекультивации земель должна включать как реставрацию непосредственных нарушений почвенно-растительного покрова, но и мероприятия по смягчению сопутствующих последствий добычи полезных ископаемых в смежных ландшафтах. Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 23-16-20003

УДК 631.618

ПОЧВЫ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ: СВОЙСТВА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

Андроханов В.А.

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,

E-mail: androhanov@issa-siberia.ru

Развитие человеческой цивилизации сопровождается постоянным ростом потребности в различных природных ресурсах, добыча которых приводит к разрушению естественных ландшафтов и формированию значительных площадей нарушенных территорий. Данные нарушенные участки представляют собой техногенные ландшафты со специфическим рельефом и разнообразными субстратами, размещенными на дневной поверхности. В большинстве случаев техногенные ландшафты характеризуются значительным снижением биоразнообразия и продуктивности и негативным воздействием на различные компоненты, прилегающих, ненарушенных ландшафтов. Таким образом, в результате промышленной деятельности формируются техногенные ландшафты, условия восстановления почв и растительности в которых, во многом зависят от свойств субстратов, рельефа и активности биологических компонентов на прилегающих территориях. В настоящее время есть понимание того, что без выполнения рекультивационных работ нарушенные территории практически невозможно вернуть в активный биологический и хозяйственный оборот. В последние десятилетия в связи с возрастающими масштабами антропогенно нарушенных территорий интерес к изучению процессов восстановления нарушенных земель, их типизации и перспектив дальнейшего использования значительно возрастает во всем Мире. В начале 21 века в различных системах классификации почв появляются группы, подгруппы молодых, «новых» почв техногенных ландшафтов с достаточно широким набором квалификаторов, позволяющих, в основном, отразить большое разнообразие вновь восстанавливающихся почв на нарушенных территориях. В тоже время необходимо признать, что основные признаки почв техногенных ландшафтов обусловлены, техногенным происхождением почвообразующих субстратов и малым периодом педогенеза, не позволяющим сформировать полноценные типодиагностические признаки в почвенном профиле, в соответствии природно-техногенными условиями восстановления почв. Определение «антропогенных», «техногенных» почв предполагает активное воздействие человека в целом на природную среду и на почвенный покров в частности, что приводит, в зависимости от уровня воздействия, к формированию антропогенно трансформированных и совершенно новых, техногенных, искусственных образований на земной поверхности, которые в той или иной степени выполняют почвенно-экологические функции на нарушенных территориях. Уровень восстановления почвенно-экологических функций во многом определяет эффективность восстановления нарушенных земель. В свою очередь почвенно-экологические функции определяются уровнем развития биоценоза и свойствами восстанавливающихся почв. В целом можно признать, чем больше параметры фитоценоза и свойств почв техногенных ландшафтов приближены, к естественным фитоценозам и ненарушенным почвам в природных ландшафтах, тем успешнее будет идти общее восстановление нарушенных территорий. Поэтому одной из главных задач восстановления нарушенных земель является создание условий для сингенетического развития растительного покрова и процессов почвообразования на нарушенных территориях. Условия восстановления могут формироваться неосознанно в ходе отработки месторождений и размещении отходов на поверхности, или же целенаправленно в результате применения той или иной технологии рекультивации. Тем не менее, как показывают проведенные исследования, техногенный ландшафт чаще всего оказывается экоклинном, внедренным в систему естественных ландшафтов. Его техногенность является лишь стартовой спецификой генезиса, но именно она через свойства поверхностных субстратов и специфику рельефа определяет перспективы восстановления почв и биоценозов на нарушенных землях. В дальнейшем развитие и восстановление почв в посттехногенную фазу происходит под воздействием естественных процессов, и несмотря на то, что свойства и режимы «новых» почв чаще всего лишь в отдаленной степени напоминают эти характеристики в естественных почвах, формирующиеся почвы следует считать естественно-историческими, почвенными образованиями, но с очень коротким периодом эволюции и со специфическими свойствами.

Установлено, что процессы преобразования исходного субстрата (почвообразования) наиболее активно проявляются в поверхностном, корнеобитаемом слое. При этом многообразии процессов почвообразования в техногенных ландшафтах можно сгруппировать по трем основным направлениям. Во-первых, формирование молодых почв под воздействием тех же элементарных почвообразовательных процессов, которые образуют профили нормально развитых в данной биоклиматической зоне почв. Это происходит в благоприятных для образования почв условиях, когда неразвитость почв обусловлена коротким периодом почвообразования и молодые почвы представляют собой зародыши почв – эмбриозёмы. Их естественное положение в эволюционной схеме развития почв отражает самые начальные этапы эволюционного развития почвенного профиля в условиях почвообразования, сложившихся в данном техногенном ландшафте. Во-вторых, в техногенных ландшафтах, субстраты которых не способствуют развитию почвообразования, под воздействием комплекса специфических процессов (выветривание) формируются слаборазвитые почвы – элювиозёмы, или фиксируется некоторая трансформация исходных субстратов без почвенных признаков. Специфика этих почв определяется в первую очередь, неблагоприятными свойствами субстратов, которые непригодны к педогенному преобразованию. В-третьих, это почвы, профили которых сформированы различного рода технологическими приёмами, рекультивированные земли с искусственно созданным корнеобитаемым горизонтом – технозёмы. Представители этой группы почв развиваются под воздействием комплекса обычных почвообразовательных процессов, но, как показывают результаты исследований, почвообразующие процессы в них могут быть несколько ускорены и направлены на сбалансирование почвенных и биологических процессов, в созданном почвенном профиле.

Несмотря на большое многообразие технологий рекультивации главной целью на начальном этапе восстановления является создание благоприятного корнеобитаемого слоя. От его свойств во многом будет зависеть эффективность восстановления и перспективы дальнейшего использования рекультивированных территорий. Формирование корнеобитаемого слоя выполняется несколькими методами: 1. Путем отсыпки благоприятных субстратов (плодородного слоя почвы, потенциально плодородных пород) на нарушенную поверхность. В этом случае возникает резкая граница раздела отсыпанного слоя и техногенного субстрата поэтому предлагается такие технозёмы называть – дифференцированными. 2. Путем улучшения исходных свойств техногенных пород агротехническими методами и внесением удобрений и мелиорантов. При этом в профиле не возникает резкая граница и такие технозёмы предлагается называть – недифференцированными. 3. Путем коренного улучшения поверхностных слоев техногенных пород с внесением почвоулучшителей различного состава (осадки сточных вод, торф, сапропель и т.п.). При этом происходит существенное изменение свойств поверхностного слоя техногенных пород, что позволяет активно развиваться биоценозам. Такие технозёмы предлагается называть – модифицированными. Таким образом свойства и режимы функционирования почв техногенных ландшафтов могут развиваться естественным образом или регулироваться технологиями рекультивации. Дальнейшая их типизация должна учитывать свойства формирующегося корнеобитаемого слоя, что во многом определяет и перспективы их восстановления, и использования.

УДК 661.183:1

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ MIL-100(Fe) И БИОЧАРА В ЦЕЛЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ

Бауэр Т.В., Хронюк О.Е., Поляков В.А., Минкина Т.М., Грицай М.А.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, bauertatyana@mail.ru

Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) из-за быстрой урбанизации и индустриализации выросло в глобальную проблему современности. Ионы металлов весьма токсичны даже при низкой концентрации, не поддаются химическому и микробному разложению и трудно удаляются после попадания в почву. Кроме того, повышенная концентрация ТМ в почве делает ее непригодной для дальнейшего сельскохозяйственного использования. Неправильное использование пестицидов и удобрений также ухудшает качество и плодородие почв, способствуя накоплению ТМ, что представляет угрозу для здоровья человека. Решение проблемы включает разработку методов очистки и рекультивации почв, среди которых использование сорбентов отличается высокой эффективностью, экологичностью и экономичностью. Биочар, получаемый методом пиролиза органической биомассы, является конкурентоспособным сорбентом благодаря обилию кислородсодержащих функциональных групп, высокому значению рН и хорошо развитой пористой структуре, что может способствовать адсорбции и иммобилизации ТМ в загрязненных почвах. Однако низкие значения площади удельной поверхности ограничивают использование биочара. Функционализация углеродистой матрицы и создание композитов с более пористыми материалами могут расширить возможности их использования. Одним из наиболее перспективных материалов для этих целей являются металл-органические координационные полимеры (МОКП). Они представляют собой относительно новый класс пористых материалов с рекордно высокими значениями удельной площади поверхности и большим разнообразием возможных функциональных групп в структуре, геометрии и размерах пор. МОКП имеют модульную структуру, которая может быть разделена на неорганические кластеры - ионы металлов и органические мостиковые молекулы - линкеры, координирующие эти кластеры в трехмерный кристаллический каркас, пронизанный полостями и каналами. Одними из наиболее изученных МОКП являются координационные полимеры семейства MIL-100(Fe), состоящие из железо-кислородных кластеров, связанных тримезиновой кислотой.

Целью данного исследования является синтез нанокompозита на основе биочара из соломы пшеницы и МОКП MIL-100(Fe), обладающего наибольшей сорбционной способностью по отношению к тяжелым металлам.

Для получения биочара предварительно промытую, высушенную и измельченную (до 5-10 мм) солому пшеницы подвергали пиролизу в лабораторной реторте в потоке азота (50 мл/мин) при температуре 500 °С в течение 45 мин и скорости нагрева 10 °С/мин.

Нанокompозит был получен путем формирования фазы MIL-100(Fe) *in-situ* на поверхности биочара. Для этого к суспензии порошка железа и тримезиновой кислоты добавляли двукратное количество биочара относительно выхода МОКП, после чего проводили гидротермальный синтез в тefлоновом автоклаве (Berghof BR-200) при 120°С в течение 20 ч. Успешность формирования и чистоту композита контролировали методами порошковой рентгеновской дифракции (XRD), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) и сканирующей электронной микроскопии с элементным картированием (SEM-EDX). Для оценки влияния биочара и нанокompозита на поглощательную способность почвы по отношению к ТМ изучена сорбция Pb(II) черноземом обыкновенным карбонатным без и с добавлением сорбентов в дозе $2_{\text{масс}}\%$. Почва характеризуется тяжелосуглинистым составом (содержание физической глины – 52,1%, ила - 25,2%), нейтральной реакцией среды (рН 7,3), наличием карбонатов (0,5%), повышенным содержанием Сорг (3,6%), ЕКО (41,1 смоль(экв)/кг) и высокой степенью насыщенности основаниями (Ca^{2+} - 82% и Mg - 11% от ЕКО).

Сорбционные эксперименты проведены в колбах Эрленмейера емкостью 150 мл при температуре 25 °С. Исходные растворы Pb(II) готовили растворением соответствующих количеств нитратной соли металла в деионизированной воде. Начальные концентрации Pb(II) в растворе составляли 0,5; 1; 2; 4; 6; 8 и 10 мМ·л⁻¹. В колбы добавляли 5г почвы в чистом виде и обогащенных биочаром или нанокompозитом, и 50 мл раствора металла.

Суспензии взбалтывали в течение часа на ротационном шейкере со скоростью 200 об/мин и затем оставляли на сутки в состоянии покоя для достижения равновесия. Затем суспензию фильтровали через фильтр «синяя лента». Концентрации ионов металла в водном растворе определяли с использованием атомно-абсорбционного спектрометра «Квант-2». Построение экспериментальных кривых и их аппроксимация выполнены в программе Origin 2018 (OriginLab, США). Для аппроксимации изотерм использована двухпараметрическая сорбционная модель Ленгмюра, позволяющая определить величину максимальной сорбции (C_∞), и константу (K_L), характеризующую прочность связи металла с адсорбентом. Согласно полученным результатам, площадь удельной поверхности биочара из соломы пшеницы составила 36,6 м²/г при суммарном объеме пор 0,046 см³/г, а площадь удельной поверхности и пористость нанокompозита – 387,0 м²/г и 0,194 см³/г соответственно. Для биочара изотерма низкотемпературной адсорбции азота соответствует II типу по классификации IUPAC (типична для макропористых материалов), для нанокompозита - и I типу (характерна для мезопористых адсорбентов) с преобладанием в обоих случаях петли гистерезиса H4 (мезопоры). Изотермы адсорбции Pb(II) почвой (П) с добавлением биочара из соломы пшеницы (БСП) или нанокompозита (НК) и без них представлены на рисунке.

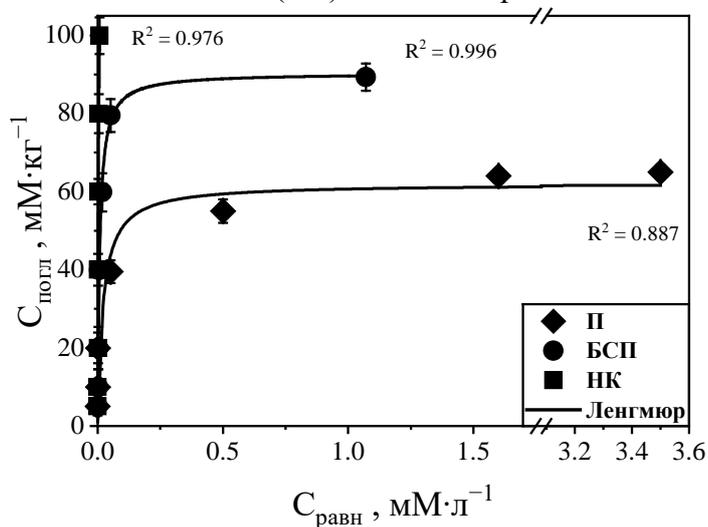


Рисунок 1 – Изотермы адсорбции Pb²⁺ почвой (П) без и с добавлением биочара (БСП) и нанокompозита (НК)

В ходе выполнения аппроксимации эмпирических данных моделью Ленгмюра установлено, что уравнение хорошо описывает зависимости и имеет высокие значения коэффициентов детерминации ($R^2 = 0,887-0,976$). Показатель максимальной сорбции C_∞ (мМ·кг⁻¹) уменьшается в ряду: НК (155,5) > БСП (90,3) > П (61,9). Для показателя K_L (л·мМ⁻¹) характерна аналогичная последовательность: НК (237,8) > БСП (121,7) > П (46,2). Внесение нанокompозита в почву оказало большее усиление адсорбции металла по сравнению с биочаром, что можно объяснить его большей площадью поверхности и доминированием микропористой структуры.

Таким образом, разработанный нанокompозит имеет большие перспективы применения в качестве сорбента и может быть рекомендован в целях ремедиации почв, загрязненных Pb.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.

УДК 631.4+502.521

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ В ЗОНЕ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Безкоровайная И.Н., Шабалина О.М., Гордина Д.В.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru

В зоне техногенного воздействия предприятий ОАО «ГМК» «Норильский никель» лимитирующее влияние на жизнь почвенной биоты короткого вегетационного периода, недостатка кислорода в почве и действия вечной мерзлоты усугубляет тотальное загрязнение поллютантами среды обитания и опасность экологических катастроф, таких как, например, авария на ТЭЦ-3 в Норильске, произошедшая в мае 2020 года и повлекшая за собой загрязнение нефтепродуктами рек Далдыкан и Амбарная, озера Пясино и пойменных почв. Оценка влияния хронического техногенного загрязнения на состояние почвенной биоты выполнялась в зоне техногенного воздействия предприятий ОАО «ГМК» «Норильский никель» на ключевых участках, расположенных в бассейнах р. Рыбная и р. Амбарная. Ключевые участки представлены редкостойными листовенничниками и луговыми сообществами, находящимися в зоне аэротехногенного загрязнения, а также участками, загрязненными нефтепродуктами и после проведения рекультивационных работ. Почвы – аллювиальные. В качестве показателей биологической активности почв использовали плотность и структуру комплексов почвенных микроартропод (учитывались самые многочисленные – ногохвостки (*Collembola*), панцирные (*Oribatida*) и гамазовые (*Gamazina*) клещи, потенциальную активность почвенного «дыхания» и ферментов. Исследованные местообитания находятся в зоне хронического техногенного загрязнения. Аккумуляция меди, никеля, свинца и кобальта растительным покровом в зоне техногенного влияния ПАО «ГМК «Норильский Никель» увеличивается вдоль градиента загрязнения от слабо к очень сильно нарушенным сообществам в 18 раз. Животное население почв органически входит в структуру наземных экосистем и роль педобионтов как трансформаторов органического вещества и регуляторов потоков вещества и энергии чрезвычайно велика. Техногенное загрязнение вызывает, в первую очередь, изменения в среде обитания почвенного населения: деградирует растительный покров, меняются физико-химические характеристики подстилки и почвы. Следствием такого опосредованного влияния является перестройка сообщества, уменьшение численности и биомассы у одних беспозвоночных и рост у других, изменение видового состава, переориентация биотических связей. Плотность почвенных микроартропод исследованных местообитаний колеблется от 19 тыс экз/м² в биотопах поймы р. Рыбная до 52 тыс экз/м² в биотопах р. Амбарная. Основу комплексов почвенных микроартропод составляют колемболы и орибатиды. Доля гамазовых клещей, свободноживущие представители которых являются всеядными или хищниками, в большинстве обследованных биотопов не превышает 20 %. Исключение составляют биотопы с нарушенной тяжелой техникой растительным и верхним почвенным слоем – здесь отмечено увеличение доли гамазовых до 50-60 %. Скорее всего это связано с большей подвижностью этих беспозвоночных и отсутствием тесной связи с напочвенным покровом, в отличие от коллембол и орибатид. Пространственное распределение комплексов микроартропод определяется гетерогенностью среды: мозаичность растительного покрова тундровых сообществ, признаки криотурбационных процессов, флуктуации почвенных гидро-термических условий и следы антропогенного воздействия. Индекс Кэсси показал, что для условно ненарушенных биотопов и для биотопов со следами техногенного нарушения комплексы почвенных микроартропод имеют агрегированное распределение ($C_s > 0$). Физическое нарушение среды обитания (нарушение растительного покрова и верхнего слоя почвы тяжелой техникой и загрязнение почвы нефтепродуктами) приводит, прежде всего, к снижению плотности почвенных микроартропод и является для беспозвоночных более значимым фактором, чем хроническое техногенное загрязнение. Проведенные ранее исследования показали слабую зависимость микроартропод от концентрации в почве таких

тяжелых металлов, как медь, никель, свинец ($R^2 = 0,07 - 0,23$). Выявлено лимитирующее значение концентрации кобальта для плотности мелких беспозвоночных ($R^2 0,68 - 0,81$). Под влиянием техногенных загрязнений происходят изменения не только численности и состава почвенной биоты, но и снижается активность ряда процессов, биокатализаторами которых являются микроорганизмы. Различия в активности почвенного «дыхания» и ферментов между исследованными биотопами не существенны, обусловлены, в первую очередь, особенностями напочвенного покрова и проявляются только в верхнем слое почвы 0-5 см. Почвы биотопов поймы р. Рыбная, находящиеся под влиянием только аэротехногенного загрязнения, характеризуются по шкале Звягинцева «низкой» потенциальной активностью почвенного «дыхания». На участках в пойме р. Амбарная, имеющих следы загрязнения нефтепродуктами и рекультивации, потенциальная активность данного показателя выше и характеризуется как «средняя», «высокая» и «очень высокая». Активность почвенных ферментов окислительно-восстановительных процессов, ферментов углеродного и азотного обмена характеризуется как «низкая» и «средняя». Не выявлено влияние загрязнения нефтепродуктами и рекультивации на потенциальную ферментативную активность аллювиальных почв. Наиболее сильное ингибирующее действие на активность почвенных ферментов показано для кадмия. Зависимость активности биологических процессов от концентрации в почве меди, никеля и свинца не превышает 50 %.

УДК 502.37

СОРБЦИОННАЯ БИОРЕМЕДИАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ В РАЗНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Васильева Г.К., Стрижакова Е.Р.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино Московской обл., gkvasilyeva@rambler.ru

Во многих странах нефть и нефтепродукты являются приоритетными загрязнителями почвы. В РФ загрязнение почв углеводородами нефти (УВН) происходит в результате многочисленных аварийных ситуаций при их транспортировке по промысловым и магистральным нефте- и продуктопроводам, а также в местах хранения нефти и нефтепродуктов. В связи с глобальной проблемой загрязнения почв разработка эффективных и экономичных методов рекультивации нефтезагрязненных почв весьма актуальна. В докладе будут рассмотрены основные методы *in situ* биоремедиации, которые считаются наиболее перспективными. До недавнего времени большинство исследований было сосредоточено на разработке методов биоремедиации нефтезагрязненных почв путем биоаугментации микроорганизмов-нефтедеструкторов и создания оптимальных условий для их активации в почве: внесение основных биофильных элементов в виде комплексных минеральных удобрений и раскислителей для поддержания рН, близкого к нейтральному, аэрация путем перемешивания. Для этих целей были сконструированы сотни биопрепаратов на основе экзогенных углеводород-окисляющих микроорганизмов (отдельные штаммы и их композиции), как в виде свободных клеток, так и иммобилизованных на различных носителях. В качестве носителей для микроорганизмов используются самые разные сорбенты: природные (торф, углеродистые сорбенты, некоторые минералы и их смеси) и синтетические (полиакрилонитрил, пенополиуретан и др.), а также материалы растительного происхождения. В результате наших совместных исследований с сотрудниками РГУНиГ им. И.М. Губкина была доказана высокая эффективность биопрепарата «БИОЛ» при обезвреживании почв и нефтешламов, которые многие годы хранились на территории бассейна реки Амазонки (Эквадор). Биопрепарат был получен на основе ассоциации нефтеразлагающих бактерий родов *Bacillus*, *Aeromonas*, *Lactobacillus* и *Chryseobacterium*, выделенных из нефтезагрязненных почв Эквадора и инокулированных на гидролизате

листьев амазонской крапивы (*Urtica dioica*) и пуэрарии (*Pueraria phaseoloides*) [Херрера, Васильева, 2014].

Тем не менее, методы биоремедиации применяются пока только при рекультивации 30% нефтезагрязненных участков. Это связано с длительными сроками обработки (1-3 года и более), высокой сайт-специфичностью метода, высоким риском загрязнения грунтовых вод и ограниченным применением метода для очистки умеренно загрязненных почв - до 5-7% УВН. В то же время, во многих случаях в местах нефтеразливов концентрации УВН в почве достигают 10-50%, при которых классическая биоремедиация оказывается неэффективной. Для расширения возможностей биологической очистки почв, загрязненных углеводородами нефти или другими поллютантами (гербициды, ПХБ, ТНТ), нами был предложен метод сорбционной биоремедиации, основанный на дополнительном внесении в почву натуральных сорбентов [Васильева и др., 1994; Vasilyeva et al., 2006; 2010].

Ранее нами был разработан метод сорбционной биоремедиации на примере почв Русской равнины (аллювиально-луговая, серая лесная и чернозем), загрязненных сырой нефтью, дизельным топливом и отработанным моторным маслом, при исходной концентрации УВН до 15% и более. Метод основан на дополнительном внесении оптимальных доз натуральных сорбентов совместно с биопрепаратами на основе углеводород-окисляющих микроорганизмов. Ускорение разложения УВН происходит за счет снижения токсичности почв в результате преимущественно обратимой сорбции УВН и их метаболитов, а также улучшения физико-химических свойств загрязненных почв, что создает оптимальные условия для роста микроорганизмов-деструкторов и растений-фиторемедиаторов с последующей микробной утилизацией поллютантов, поглощенных сорбентами [Васильева и др., 2013; Зиннатшина и др., 2018; Kondrashina et al., 2018].

Доказано, что в ходе сорбционной биоремедиации нефтезагрязненных почв, в них не происходит значительного накопления стойких компонентов нефти, в том числе полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), включая наиболее опасный бенз(а)пирен. Кроме того, сводится к минимуму риск выщелачивания в грунтовые воды токсичных углеводородов и еще более токсичных водорастворимых промежуточных продуктов их микробного окисления. Это позволяет проводить биоремедиацию сильно загрязненных почв в условиях *in situ*, т.е. непосредственно на загрязненном участке, показана высокая экономичность метода [Vasilyeva et al., 2020; 2022; Слюсревский и др., 2018].

Однако, основные проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды нефтью, наблюдаются на севере Западной Сибири (территория ХМАО и ЯНАО), где добывается более 60% углеводородов России. В этом регионе распространены подзолы - слабогумусированные минеральные почвы легкого гранулометрического состава. Из-за низкой буферности этих почв необходим особый подход при изучении возможностей применения сорбционной биоремедиации при ликвидации последствий нефтеразливов. Целью недавних исследований было на примере трех типов минеральных почв Западной Сибири, умеренно и сильно загрязненных сырой нефтью, изучить механизмы влияния сорбентов натурального происхождения (минеральных, углеродистых и органических) на изменение интегральной токсичности и физико-химические свойства почв с целью определить оптимальные условия для микробной деградации нефтяных загрязнителей и в конечном итоге разработать метод сорбционной биоремедиации этих почв.

Эксперименты проводились на 3-х типах фоновых почв, специально загрязненных сырой нефтью в дозах от 5 до 15%. На первом этапе проводились модельные эксперименты с глеево-подзолистой почвой, отобранной вблизи г. Уренгой (ЯНАО), и подзолом иллювиально-железистым, отобранным вблизи Самотлорского нефтяного месторождения (ХМАО). В результате была доказана высокая эффективность применения метода сорбционной биоремедиации, основанного на использовании композитного сорбента (смесь торфа верхового, гранулированного активированного угля и диатомита) совместно с биопрепаратом «Микробак», разработанным в лаборатории биологии плазмид ИБФМ РАН.

Биопрепарат состоит из консорциума психрофильных, устойчивых к засолению углеводород-разлагающих штаммов родов *Rhodococci* и *Pseudomonas*, в том числе штаммов - носителей плазмид, кодирующих ферменты деструкции ПАУ и продуцирующих биоэмульгаторы. Микробный консорциум может разлагать УВН в почве в концентрации до 15%, в интервале температур 4–32°C, pH 6–8, и при повышенной солености до 5% NaCl [Filonov et al., 2008]. Апробация разработанного метода в условиях, приближенных к естественным, вблизи Самотлорского нефтяного месторождения, на литострате песчаном, сильно загрязненном сырой нефтью (15_{масс.}%), подтвердила высокую эффективность применения метода в условиях *in situ* для ликвидации последствий аварийных нефтеразливов на поверхности минеральных почв Западной Сибири [Михедова и др., 2023]. Наши совместные исследования с сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН также подтвердили эффективность метода сорбционной биоремедиации для почв Арктики и Субарктики на Кольском полуострове, исторически загрязненных нефтепродуктами [Mjazin et al., 2021]. Изучение научной литературы, опубликованной в последние годы, показало перспективность данного подхода, при котором в качестве сорбентов используются также различные растительные остатки, а для активации микрофлоры вносятся органические удобрения в виде навоза домашних животных или птичьего помета, отдельно или в смеси с опилками. В определенной мере эти подходы можно отнести к методам сорбционной биоремедиации, так как они основаны на близких принципах [Vasilyeva et al., 2024]. Авторы выражают благодарность всем сотрудникам, принимавшим участие в совместных исследованиях; ПушГЕНИ, ИБФМ РАН, ООО «Транснефть», ЮФУ (г. Ростов-на-Дону) и факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, ИППЭС КНЦ РАН, РУДЭН и др.

УДК 631.432.2

ПРОБЛЕМА ЛОКАЛЬНОЙ ГИДРОФОБНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ: МЕТОДЫ ЕЁ ОЦЕНКИ И БОРЬБЫ С НЕЙ

Гаршин М.В., Сулейманов Р.Р.

Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, e-mail: soils@mail.ru

Во всем мире нефть является наиболее потребляемым ископаемым топливом по сравнению с другими источниками энергии, такими как уголь и природный газ. Как правило, транспортировка сырых нефтепродуктов из месторождений на нефтеперерабатывающие заводы и фракционированных продуктов с нефтеперерабатывающих заводов к пунктам распределения осуществляется по трубопроводам, автомобильным, железнодорожным и морским транспортом. Однако трубопровод остается наиболее экономичным способом транспортировки. Крупномасштабные утечки из трубопроводов, систем хранения топлива, неправильное управление утилизацией нефтяных отходов и т.д. являются основными источниками нефтяного загрязнения почвенного покрова. Структурный отказ, приводящий к утечке нефти, возникает вследствие коррозии металлических частей трубопровода. Средний срок службы нефте- и газопроводов из стали составляет 20-40 лет, но 40% мировых трубопроводов все еще находятся в эксплуатации даже после того, как они достигли проектного срока. В связи с этим происходят локальные загрязнения, которые на протяжении многих лет несут изменения почвенных свойств и даже после их рекультивации. Загрязненная нефтью почва вызывает серьезные экологические проблемы во всем мире, а именно ухудшение свойств почвы. Одним из отрицательных явления загрязнения почв нефтью является проявление гидрофобности. Гидрофобность почвы – широко распространенное явление, которое влияет на характер и равномерность увлажнения почвы, испарения, стока, транспорта веществ, фильтрационной способности, водостойкости, и доступности воды для растений, возникающее в результате сложного взаимодействия гидросферы, литосферы, биосферы, атмосферы и антропосферы.

К настоящему времени разработано достаточно много методов для определения гидрофобности почв. WDPT-test основан на измерении времени проникновения капли воды в образец почвы, и чем больше это время, тем более гидрофобной является почва. Метод молярности (MED-test) водно-этаноловых капель идентичен предыдущему методу, только в данном случае вместо воды используют водно-спиртовой раствор. Кроме того, для оценки гидрофобности почв используются методы определения краевого угла смачивания: метод «сидячей капли» и метод подъема капиллярной каймы. Данные методы основаны на работе с разными типами почв не подвергнутыми загрязнению нефтепродуктами. Простых методов, позволяющих оценить гидрофобность нефтезагрязненных почв, на данный момент не существует.

На сегодняшний день достаточно много исследований на тему загрязнения почв нефтепродуктами и разработками по методам их рекультивации, но большинство результатов этих исследований описывают свойства почв подверженных загрязнению нефти в короткий промежуток времени, либо на ранних этапах загрязнения.

Для борьбы с гидрофобностью почвы широко используют неионные поверхностно-активные вещества, или поверхностные активные увлажняющие вещества, которые ослабляют поверхностное натяжение воды на поверхности частиц почвы, позволяя водным молекулам распространяться. Когда гидрофобность почв проявляется очень сильно, поверхностно-активные вещества могут улучшать способность воды проникать сквозь поверхность почвы и таким образом увеличивать показатель инфильтрации. Но наиболее эффективным и доступным методом снижения нефтепродуктов в почвах является их сорбция. Одним из перспективных сорбентов для детоксикации почв, загрязненных нефтепродуктами является хитозан. Его можно применять как в мелкоизмельченном виде, так и в качестве раствора, что расширяет возможности рекультивации почв в различных природно-климатических условиях.

УДК 631.4 + 004.9

АНАЛИЗ ПОЛНОТЫ И КАЧЕСТВА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И АТРИБУТИВНЫХ ДАННЫХ ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ФЕДЕРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬХОЗНАЗНАЧЕНИЯ

Голозубов О.М.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

В Единой Федеральной Информационной Системе Земель Сельскохозяйственного Назначения (ЕФИС ЗСН) с 2017 года начался массовый сбор не только атрибутивной, но и пространственной информации. Сбор данных агрохимического мониторинга, ранее регламентировавшийся в основном Статьей 15 Федерального закона от 16.07.1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» и Приказом Минсельхоза России от 04.05.2010 N 150 «Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения», существенно дополнился в том, что касается почвенной информации, с вступлением в силу таких документов, как [постановление](#) Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 г. N 731 "О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации", Приказ Минсельхоза РФ №164 от 13.03.2023 о форме Паспорта Участка ЗСН и ГОСТ Р 70229 2022 «Почвы. Показатели качества почв». Последние три документа соответствуют задачам кадастровой оценки, регламентируемой приказом и методикам Минэкономразвития по перечню необходимых показателей почвенно-агрохимического мониторинга, причем фокус внимания существенно смещён в пользу именно почвенных свойств.

База данных ЕФИС ЗСН формируется из отчетов региональных агрохимслужб, предоставляемых в соответствии с шаблоном в формате ESRI shape. За анализируемый период 2017-2022 годы накоплен значительный объем уникальной по ценности информации, составляющий наиболее полное представление о состоянии почвенных ресурсов на ЗСН РФ. Эти данные активно используются научным сообществом, почвоведомы России для получения разного рода интегральных оценок по почвам страны. Эти данные были использованы в таких международных проектах, как GSOC17 (карта запасов органического углерода в 30-см толще), в других проектах совместно с ФАО – карта «черных почв», карта питательных веществ, карта GSOCSeq секвестрации органического углерода. Сейчас (апрель 2024 года) заканчивается подготовка Российской части отчета (2025 Status of the World's Soil Resources report), выпускаемого раз в 10 лет о состоянии почв мира, в котором в части состояния питательных веществ в почве также использованы данные базы данных ЕФИС ЗСН. Материалы (средние данные по округам, схема расположения участков на карте и др.) размещены по ссылке https://datacenter.soil.msu.ru/filesshare/SOC_1meter/report_2025/. Объемы накопленных данных представляют собой около двух миллионов пространственных полигонов общей площадью в несколько десятков миллионов гектаров. Понятно, что такие объемы информации содержат различного рода ошибки, погрешности, опечатки и т.п., и в случае алфавитно-цифровой информации известны методы фильтрации и очистки таких данных. Однако пространственная компонента – полигоны, впервые собираемые в таком объеме, вносит свои особенности в очистку данных. Также особенностью является объектная модель, сам способ сбора данных. Чтобы пользоваться этими данным, внедрять их в научную и производственную практику, нужно понимать происхождение, характеристики и особенности доступной информации.

Целью исследования была проведение анализа пространственных данных ЕФИС ЗСН за 2017-2022 годов, и предоставления в докладе перечня основных особенностей данных, источников этих особенностей и обсуждения путей фильтрации и очистки данных.

Одним из важных вопросов в условиях неполноты собранных данных является представительность данных - требование к равномерному покрытию по всем агроклиматическим подзонам и земельно-оценочным районам. Здесь же необходимо учитывать, что для разных регионов определены разные максимальные нормативы площади сельскохозяйственных полигонов, для которых отбирается объединённая (комбинированная) агрохимическая проба. Так в Ленинградской области, например, норматив – не более 5 га на одну пробу, а в Ставропольском крае – 25 га и более. Однако в отчетах от регионов поступают контуры полигонов площадями от 0.01 га до 10 и более тысяч га. Средние значения по федеральному округу или региону (от 15 до 70 га) не являются в этом смысле представительными. Такие особенности необходимо учитывать при моделировании разного рода оценок ЗСН.

Особенностью принятой в ЕФИС ЗСН модели данных является попытка включения всех пространственных и атрибутивных данных в один контур. При этом важные негативные факторы указываются в качестве атрибута процента от площади всего контура. Это препятствует выделению однородных элементарных почвенных ареалов (ЭПА), что является обязательным требованием при кадастровой оценке. В отдельных регионах используется более универсальная модель данных, в которой каждый из пространственных объектов с негативными характеристиками (заболоченность, зоны залесенности, засоления и т.п.) формирует отдельный слой, а пересечение слоёв дает выделы, ЭПА, используемые далее в соответствии с задачами.

Также отметим такую особенность, как пространственное несовпадение границ контуров с их реальным расположением. Это в основном обусловлено низкой точностью при векторизации границ полигонов, часто унаследованных от устаревших геоинформационных систем, либо выполненных недостаточно квалифицированным персоналом.

Сюда же, к неточностям позиционирования границ относятся установки на использование проекционных систем координат Меркатора (UTM). Причем для отчетности регионы должны трансформировать свои данные по зонам, определенным в центральном министерстве. В регионах также используются местные системы координат (с меньшей погрешностью, в которых работают управления кадастровой оценки), а сами агрохимслужбы в полевых обследованиях пользуются географическими системами координат WGS 84 (EPSG 4326), применяемых в полевых навигаторах. Поскольку требование уточнения границ полигонов и предоставление точных данных в Росреестр достаточно ясно следует из руководящих материалов, то наблюдаемое расхождение в 5-10 метров между границами полигонов с проекции UTM и данных управлений кадастровой оценки является достаточно существенным.

Что же касается собственно данных почвенных обследований, то здесь пока объектная модель не устоялась совсем, и такие требования, как разбиение полигонов на крупномасштабные почвенные выделы, представление почвенных комбинаций (комплексов и сочетаний почв) с учетом их весов, запись атрибутивной профильной информации и многие другие особенности почвенных обследований пока записываются в различных регионах по-разному, что исключает автоматизацию расчетов таких проектов, как рекультивация, адаптивно-ландшафтное землеустройство, выработку рекомендаций по поддержанию оптимального уровня плодородия, и многое другое.

В докладе анализируются по приведенным выше категориям данные ЕФИС ЗСН на различных уровнях обобщения - от отдельного полигона до федерального округа. И рассматриваются здесь только пространственные аспекты почвенно-аграрного мониторинга.

Результаты по мере поступления и формирования иллюстративных материалов записываются в облачное хранилище Информационной системы «Почвенно-географическая база данных Российской Федерации» (входит в состав Центра коллективного пользования) на суперкомпьютере «Ломоносов-2» (см. ссылку

https://datacenter.soil.msu.ru/fileshare/SOC_1meter/report_2025/)

Работа выполняется при поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Агрохимическая служба России» Минсельхоза РФ.

УДК: 631.4

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГУМУСОВО-РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ ГОРИЗОНТОВ В УСЛОВИЯХ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Горбов С.Н., Тагивердиев С.С., Скрипников П.Н., Безуглова О.С.

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, пр-т Стачки, e-mail: sngorbov@sfedu.ru

На территории г. Ростова-на-Дону на базе семи точек мониторинга, расположенных в различных частях города и Почвенного стационара по изучению конструкторземов, локализованного в Ботаническом саду ЮФУ, проведены исследования по изучению трансформации различных форм углерода в ходе эволюции конструкторземов на ранних стадиях их развития. Выбранные точки мониторинга отражают основные варианты рекультивированных городских почв, сложенных разновозрастными гумусово-рекультивационными горизонтами РАТ.

Мощность горизонтов РАТ во всех изученных профилях колеблется в диапазоне от 10 до 34 см, не превышая в большинстве случаев 10 см. Максимальная мощность горизонтов РАТ изученных почв составляет 35 см, что является оптимальным в случае использования для рекультивации гумусово-аккумулятивной толщи суглинистых черноземов. При мощности в 40 см и более происходит переуплотнение нижней части создаваемого горизонта, что влечет за собой нарушение водно-воздушного обмена между рекультивированной и погребенной частями почвенного профиля.

В профиле реплантированных почв селитебной и промышленной зон горизонт RAT, как правило, формируется на антропогенной толще, сложенной одним или несколькими горизонтами «урбик». Последние четко диагностируются по окраске и сложению, в зависимости от материалов, послуживших основой для их формирования. Вторая особенность антропогенно-преобразованных почв Ростовской агломерации – их двучленность: под урбаногенными горизонтами (горизонты RAT, UR, TCH) часто залегает профиль нативных черноземов, либо с незначительно эродированным поверхностным гумусово-аккумулятивным горизонтом AU, либо «скальпированный» до верхних горизонтов ВСА. Как следствие, практически на всех точках мониторинга под рекультивационными и урбиковыми горизонтами продолжает эволюционировать погребенная гумусово-аккумулятивная толща некогда нативных черноземов.

Зачастую материал для горизонтов RAT, вследствие механического воздействия при скальпировании и перемещении, имеет в избытке порошистые агрегаты. Тем не менее оценивая форму структурных отдельностей урбостратоземов, можно заключить, что срок реновации не является определяющим структуру почвы. Преобладающая форма агрегатов черноземов определяется как комковато-зернистая, однако в условиях города даже в черноземах миграционно-сегрегационных появляются ореховатые и порошистые агрегаты. Анализ состава ценоморф выбранных точек мониторинга показал, что на фоне присутствия отдельных представителей газонных трав в массе своей доминировали синантропофанты, обладающие высокой семенной продуктивностью. Возникшие сообщества являются ценотически многокомпонентными, флористически насыщенными с высоким проективным покрытием. За время антропогенной эволюции растительности на реплантированных почвах сформировался новый тип ценозов, адаптированных в процессе экологических сукцессий к новым компонентом урбозкосистемы.

Реплантированные почвы г. Ростов-на-Дону характеризуются стабильным состоянием гумусового комплекса. По сути, перемещение рекультивационной гумусовой массы происходило из агрогенных участков, которые долгое время использовались в с/х производстве, где гумус представлен преимущественно стабильными формами углерода, сопряженными с кальцием, полуторными окислами и глинистыми минералами. Таким образом перемещение гумусово-аккумулятивной массы с целью использования её в качестве реплантанта в большей степени затронуло физические, нежели химические свойства вновь образованных горизонтов RAT.

Вне зависимости от возраста горизонтов RAT изученных почв и интенсивности оказываемой на них антропогенной нагрузки, содержание валового органического углерода в них имеет близкие значения и составляет в среднем $2,52 \pm 0,51\%$, ($n=77$).

В изученных реплантированных почвах наблюдается обратная корреляционная взаимосвязь между содержанием органического углерода и глубиной. Но если в зональных черноземах Ростовской агломерации коэффициент корреляции с использованием критерия Спирмена составляет 0,87, то в реплантоземах он несколько снижается – 0,77, однако корреляционная связь классифицируется как сильная, несмотря на двучленность профиля реплантированных почв.

Реплантированная часть не связана единым поровым пространством с нижележащими горизонтами, поэтому оценка этого показателя для гор. RAT имеет диагностическое значение, когда иные свойства варьируют широко, а данные морфологии проблематичны. Соотношение открытой и закрытой пористости является довольно консервативным показателем для естественных черноземов. Отмечается, что в реплантоземах с тяжелым гранулометрическим составом, приближенным к естественному, отношение открытых пор к закрытым порам уменьшается по сравнению с фоном, а при облегчении – увеличивается. Гранулометрический состав горизонтов RAT в целом наследуется от материала гумусово-аккумулятивных горизонтов, из которых он создан. Иногда при рекультивации добавляется

песок с целью облегчения гранулометрического состава и улучшения водно-воздушных свойств почв.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00418, <https://rscf.ru/project/23-27-00418/>

УДК 631.46

МЕТАГЕНОМНЫЙ ПОРТРЕТ ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ЕСТЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ И ПРИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

А.В. Горовцов, К.А. Дёмин, С.Н.Сушкова, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: avgorovcov@sfedu.ru

Черноземы являются наиболее продуктивными почвами нашей страны и обеспечивают значительную часть производства сельскохозяйственной продукции. Эти почвы обладают значительным биоресурсным потенциалом, который, однако, остается в значительной степени остается неизученным. В Ростовской области черноземы занимают большую часть площади региона, они представлены в основном обыкновенным и южным подтипами. Биоресурсный потенциал, плодородие и устойчивость черноземов к деградации в значительной степени определяются их микробиотой. Исследования микробных сообществ черноземов Ростовской области весьма фрагментарны, и в основном выполнены с опорой на культуральные методы исследования. С развитием методов молекулярной генетики и метагеномики появилась оценить микробные сообщества черноземов при разных уровнях техногенной трансформации. Целью настоящей работы было составить «метагеномный портрет» черноземов на основе исследования почв особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и оценить изменения микробиома черноземов при техногенной трансформации. Для изучения микробных сообществ природных почв было отобрано 30 образцов черноземов (черноземы южные, черноземы обыкновенные, черноземы текстурно-карбонатные) на территории ООПТ Ростовской области. Техногенно-трансформированные почвы были представлены территориями, прилегающими к углеотвалам шахт Восточного Донбасса (6 образцов), а также почвы бывшего шламонакопителя – высохшего оз. Атаманское (18 образцов).

ДНК из образцов почвы выделяли с использованием набора FastDNA™ Spin Kit для почвы. Для подготовки библиотек использовали набор для подготовки библиотеки ДНК NEBNext Ultra II (NEB) в соответствии с инструкциями производителя. Ультразвуковую фрагментацию геномной ДНК проводили на приборе Covaris S220. Качество полученных библиотек проверяли на анализаторе 2100 Bioanalyzer (Agilent) с использованием набора DNA High Sensitivity (Agilent). Концентрацию ДНК в препаратах оценивали с помощью прибора Qubit 2.0. Секвенирование проводили на платформе MGI (DNBSEQ). Фильтрация сырых прочтений по длине и качеству осуществлялась с помощью trimmomatic (MINLEN=100). Человеческая ДНК удалялась путём выравнивания сырых метагеномных прочтений на T2T-сборку человеческого генома с помощью bowtie2. Отфильтрованные прочтения классифицировали программным обеспечением kraken2 с использованием базы данных PlusPFP. Анализ таксономического состава и биоразнообразия микробного сообщества производился в программном обеспечении R v. 4.3.2. Результаты представлены на диаграмме 1.

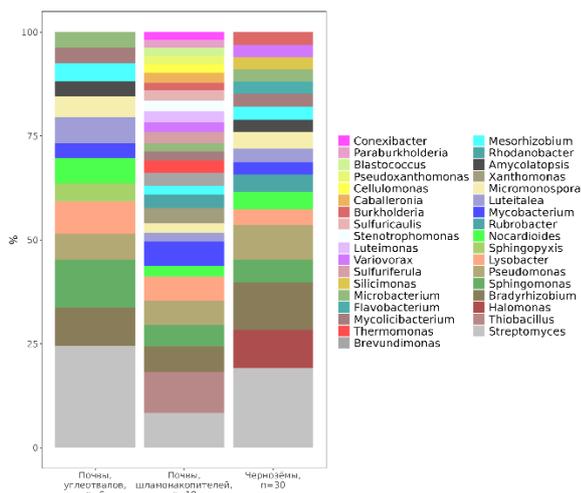


Рисунок 1 – Распределение доминирующих родов бактерий в метагеномах черноземов ООПТ Ростовской области и техногенно-нарушенных почвах

Как можно видеть из представленной диаграммы, во всех исследуемых почвах наиболее широко представленными родами были *Streptomyces*, *Bradyrhizobium*, *Sphingomonas* и *Pseudomonas*. Индивидуальными отличиями почв шламонакопителя было доминирование бактерий р. *Thiobacillus*, *Rhodanobacter*, *Sulfuriferula* и *Sulfuricaulis*. Почвы углеотвалов были в значительной степени похожи по составу доминирующих родов на почвы ненарушенных черноземов, но общее число родов, имеющих более 10000 прочтений в данных почвах, оказалось меньше. Уникальными для ненарушенных черноземов оказались представители родов *Halomonas* и *Rubrobacter*.

Таким образом, черноземы ООПТ Ростовской области характеризуются высоким уровнем биоразнообразия с резким доминированием представителей филумов Actinomycetota и Pseudomonadota. При техногенной трансформации черноземов в результате деятельности угольной промышленности и загрязнением их полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), микробное сообщество сохраняет свою устойчивость. Более выраженные изменения происходят при экстремальной техногенной нагрузке (полиметаллическое загрязнение в почвах шламонакопителя с валовым содержанием цинка до 70000 мг/кг). Это говорит о значительной устойчивости микробных сообществ черноземов к техногенной нагрузке.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение No 075-15-2022-1122.

УДК 631.421

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ОТВАЛОВ КУЗБАССА

Госсен И.Н.

Институт почвоведения и агрохимии, Новосибирск, e-mail gossen@issa-siberia.ru

Основной целью при изучении техногенно нарушенных земель является диагностика состояния территории в плане оценки перспектив самовосстановления почвенного покрова, как базового компонента любой наземной экосистемы. Почвенно-экологическое состояние техногенно нарушенных территорий главным образом характеризуется способностью устойчивого восстановления почв на нарушенных территориях.

При этом в каждом конкретном случае лимитирует эффективность почвообразования только один фактор, хотя, в принципе, их может быть несколько. Дело в том, что каждое

местообитание в пределах данного геоморфологического участка техногенного ландшафта представляет собою элементарный почвенный ареал, скорость эволюции почв которого определяется условиями почвообразования. В тех местообитаниях, в которых складываются наиболее благоприятные условия для почвообразования скорость эволюции почв выше и инициальные эмбриоземы быстро эволюционируют в гумусово-аккумулятивные. Там же, где условия почвообразования оказываются наименее благоприятными – почвы остаются на стадии эмбриоземов инициальных. По этой причине появляется возможность все техногенные местообитания дифференцировать на три группы – местообитания с условиями, не способствующими почвообразованию; с условиями, способствующими медленной эволюции почв; и условиями, способствующими быстрой эволюции почв.

Почвенно-экологическая эффективность рекультивации (ПЭР) рассчитывается по основным почвенным показателям, определяющим их почвенное плодородие. ПЭР характеризует индивидуальные особенности объекта рекультивации, лимитирующие или стимулирующие развитие ведущей почвенно-экологической функции. В случае с техногенными ландшафтами основное влияние на развитие процессов почвообразования оказывают – рельеф, содержание физической глины, плотность сложения субстрата и содержание педогенного углерода. Численные значения которого могут изменяться от нуля до ста процентов и характеризуют степень отклонения почвенного показателя от контрольного значения данного показателя в естественной почве, выбранной в качестве эталона.

Исследования проводились на молодых 5 летних и старых 40 летних спланированных участках естественного зарастания. Почвенный покров молодого участка представлен эмбриоземом инициальным 100 %. На сорока летнем участке сформировались эмбриоземы дерновые 60 % и гумусово-аккумулятивные 40 %.

В связи с тем, что на всех участках проведена планировка и поверхность близка к горизонтальной, рельеф не будет влиять на величину почвенно-экологической эффективности.

Для оценки эффективности определялось содержание физической глины в профиле почв. Поскольку исследуемые субстраты содержат большое количество каменистых отдельностей, необходимо определение ее содержания не только в мелкоземе, но и во всем объеме субстрата. На молодом участке с эмбриоземом инициальным почва характеризуется средне суглинистым гранулометрическим составом мелкозема и составляет 36,4 %. Как видно из таблицы 1 ПЭР составляет 35 %. Однако необходимо отметить, что мелкозема в профиле данной почвы лишь 9 %, остальной объем субстрата представлен обломочным материалом вскрышных и вмещающих пород, который в результате процессов выветривания разрушается до песка. В связи с этим данная почва характеризуется как рыхлый песок и частицы физической глины составляют лишь 3,3 %, а ПЭР по физической глине субстрата составляет 8 % (табл. 1).

На старовозрастном участке почвенный покров представлен эмбриоземами дерновым и гумусово-аккумулятивным. В результате процессов выветривания происходит разрушение крупных каменистых отдельностей и увеличение фракции мелкозема. По гранулометрическому составу почвы характеризуются средне суглинистым мелкоземом. При этом в профиле дернового эмбриозема содержится 56 % каменистых отдельностей, а в гумусово-аккумулятивном 45 %. При пересчете на весь объем субстрат эмбриозем дерновый характеризуется как песок связный, а гумусово-аккумулятивный как супесь. Расчет почвенно-экологической эффективности представлен в таблице 1. ПЭР по физической глине мелкозема дернового составляет 75 %, при пересчете на весь объем субстрата 11%. На гумусово-аккумулятивном ПЭР по физической глине мелкозема – 72 %, при пересчете на весь объем субстрата 21% (табл. 1).

Проведенные исследования показали, что плотность сложения на участках довольно высокая и составляет 1,52 г/см³ на инициальном и характеризует его как очень плотный, значения ПЭР составляют 54 %. На дерновом и гумусово-аккумулятивном она составляет 1,38 и 1,31

г/см³ что характеризует их как среднеплотные. Расчет почвенно-экологической эффективности показал 74 % на дерновом и 84 % на гумусово-аккумулятивном. Высокие значения плотности связаны с проведенной планировкой поверхности тяжелой горнодобывающей техникой. Со временем идет разуплотнение субстрата отвалов, однако она длительное время остается на довольно высоком уровне.

Еще одним важным показателем при оценке почвенно-экологической эффективности является содержание органического вещества почвы. Молодые участки эмбриозема инициального характеризуются как безгумусовые с содержанием его менее 1 %. Значения ПЭР составляют 3 % (табл. 1).

В ходе процессов почвообразования отмечается накопление в профиле формирующихся почв органических веществ. Так содержание гумуса в эмбриоземе дерновом составляет 2,8 %, ПЭР данного участка 32 %, а в гумусово-аккумулятивном до 4 % органического вещества, а рассчитанные значения ПЭР составили 55 % (табл. 1). Однако необходимо отметить, что данные почвы характеризуются как низкогумусовые.

Проведенная оценка почвенно-экологической эффективности на молодом участке с эмбриоземом инициальным показала, что лимитирующим фактором почвообразования является малое количество мелкозема в профиле и, в связи с этим и низкое содержание физической глины, а также незначительное количество органического вещества в почве. Среднее значение ПЭР данного участка составляет 20 % (табл. 1).

Поскольку на сорокалетнем участке сформировались два типа почв оценка ПЭР проводилась для эмбриоземов дернового и гумусово-аккумулятивного. Проведенные исследования показали, что высокая каменистость негативно влияет на содержание мелкозема и соответственно содержание физической глины на весь объем субстрата (табл. 1). Почвенно-экологическая эффективность эмбриозема дернового составляет 48 %, а гумусово-аккумулятивного 58 %.

Таблица 1 Почвенно-экологическая эффективность участков рекультивации

Тип почвы	ПЭР по физ. глине мелкозема	ПЭР по физ. глине субстрата	ПЭР по плотности	ПЭР по углероду	Общая по типу почвы
Инициальный 5 лет	35	8	54	3	20
Дерновый 40 лет	75	11	74	32	48
Гумусово-аккумулятивный 40 лет	72	21	84	55	58

УДК 631.1

К ВОПРОСУ О РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Жуков В. Д.

Кубанский ГАУ, г. Краснодар, e-mail: zhuckow.vik@yandex.ru

Аннотация. Проанализированы данные кадастрового учета нарушенных земель по муниципальным образованиям Краснодарского края за период с 2000 по 2020 годы. Изучены факторы и специфика выполнения работ по рекультивации нарушенных земель в различных по природно-климатическим условиям районах края. Даны предложения по оптимизации и совершенствованию процесса рекультивации нарушенных земель в крае.

Annotation. The data of cadastral registration of disturbed lands in the municipalities of the Krasnodar Territory for the period from 2000 to 2020 are analyzed. The factors and specifics of the reclamation of disturbed lands in different areas of the region in terms of natural and climatic conditions have been studied. Proposals are given to optimize and improve the process of reclamation of disturbed lands in the region.

Ключевые слова: кадастровый учет, рекультивация нарушенных земель, плодородие почв, природно-климатическое районирование.

Key words: cadastral registration, reclamation of disturbed lands, soil fertility, natural and climatic zoning.

Введение. В современной действительности, по словам академика А.Е. Ферсмана, «Хозяйственная и промышленная деятельность человека по своему масштабу и значению сделалась сравнимою с процессами самой природы». В результате этой деятельности возникли техногенные ландшафты, в отдельных муниципальных образованиях, напоминающих «лунный».

Объемы работ по добыче полезных ископаемых, на территории Краснодарского края, в основном общераспространенных, за годы проведения земельной реформы значительно снизились, в это же время снизились и объемы работ по рекультивации нарушенных земель и, прежде всего, карьеров по добыче глин для производства кирпича.

Такой вывод сформулирован на основе анализа данных по учету нарушенных земель за период с 2000 по 2020годы.

Анализ и обсуждение результатов.

Природно-климатическое зонирование нашего государства, выполненное Академией наук СССР в 50-е годы прошлого столетия, является основой при планировании процесса развития сельского хозяйства, как в целом страны, так и отдельных регионов.

Анализ отчетности по объемам нарушенных земель в различных природно-климатических зонах Краснодарского края показал, что за рассматриваемый период, практически не проводятся работы по рекультивации отработанных карьеров по добыче глины для производства кирпича в Северной и Центральной природно-климатических зонах, за исключением г. Армавира и Новокубанского района.

За рассматриваемый период площадь нарушенных земель в г. Армавир сократилась в 2 раза – с 87 га до 43га, а в Новокубанском районе все отработанные карьеры, практически, рекультивированы – площади нарушенных уменьшились в 10 раз, со 130 га до 6 га.

До 2010 г. работы по рекультивации нарушенных земель проводились на территории Динского района, площадь нарушенных земель снизилась с 489 га до 303га; на территории Тимашевского района-площади нарушенных земель уменьшились с 71 га до 64га, а затем прекратились и площади подлежащих рекультивации земель остановились на уровне 2010г. Достаточное внимание рекультивации нарушенных земель уделяется в Западной природно-климатической зоне: так площадь нарушенных земель в Красноармейском районе снизилась в 9 раз, с 97 га до 11га, в Калининском районе снижение в 4,5 раза, со 113 га до 25га, однако в Славянском районе площадь таких земель увеличилась в 20 раз, с 4га до 88га

В Предгорной зоне ситуация с рекультивацией нарушенных земель отличается большой пестротой и разнообразием с объемами работ по снижению площадей нарушенных земель. В традиционных районах по добыче щебня для дорожного строительства и других видов строительных работ: Абинский и Лабинский районы - проводится рекультивация отработанных площадей карьеров. В Абинском районе площадь нарушенных земель снизилась со 180 га до 90 га, В Лабинском районе эти цифры составляют 116 га и 96 га, соответственно.

В тоже время в двух других районах этой же зоны Северском и Мостовском, площади карьеров по добыче строительных материалов (щебня, гипса и др.) продолжают увеличиваться и на отчетную дату в Северском районе составляют 654 га – увеличение в сравнении с 2000 годом в 2 раза с 275 га; в Мостовском районе почти в 2 раза со 180 га до 235га.

Напряженное положение с рекультивацией карьеров по добыче песчано-гравийных смесей в Гулькевичском и Белореченском районах Центральной зоны: в Белореченском районе площади нарушенных земель составляют 366 га, в Гулькевичском районе постоянно увеличиваются, 408 га в 2000г.- до 633 га к 2020г.

На Черноморском побережье рекультивация нарушенных земель практически не ведется: в г. Сочи площади таких земель остаются на одном уровне-109 га, в г. Геленджике даже увеличиваются с 22га в 2000г. до 74га в 2020, в г. Туапсе учет таких земель не проводится и лишь в г. Новороссийске активно проводятся работы по рекультивации отработанных карьеров добычи сырья для производства цемента, их площадь уменьшилась со 365 га в 2000г. до 90 га к 2020г.

На наш взгляд, такое неоднозначное положение с рекультивацией нарушенных земель обусловлено различными причинами: экономическими, социальными и нормативными Выводы. [Постановление Правительства РФ от 10 июля 2018 г. N 800"О проведении рекультивации и консервации земель"](#) нуждается в существенной доработке, особенно по статье 3. «Правил проведения рекультивации и консервации земель», добавив в текст государственный надзор за выполнением работ по рекультивации земель.

УДК 631.4: 622.882

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Капелькина Л.П.

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, e-mail: kapelkina@mail.ru

На территории Западной Сибири в зоне освоения нефтяных месторождений преобладающими типами почв являются торфяно-болотные с различной степенью увлажнения, песчаные подзолы и подзолистые иллювиально-железистые почвы, формирующиеся на суходолах. Нарушенные земли различаются по местонахождению (болотные участки, суходолах), форме (площадные объекты, линейные нарушения), площади (от нарушений в несколько десятков квадратных метров до десятков гектаров), возрасту (времени, прошедшем после нарушения), виду воздействия на земли (механические нарушения или загрязненные участки вследствие разливов нефти, буровых растворов, горюче-смазочных материалов) и другим параметрам.

Началу разработки нефтяных месторождений на заболоченных территориях Западной Сибири предшествует намыв на поверхность болот больших объёмов песка со дна близ расположенных водоемов с помощью средств гидромеханизации. Складирование песка осуществляется в штабели, по форме напоминающие усеченный конус. Спустя 1-2 года после отдачи воды штабелем осуществляется развоз песка и последующее устройство песчаных насыпей – оснований под буровые площадки, дороги, промышленные объекты. Из-за низкой несущей способности обводненных торфов освоение заболоченных ландшафтов Западной Сибири без проведения таких подготовительных работ практически невозможно. После завершения буровых работ и ввода скважин в промышленную эксплуатацию отработанные площади подлежат рекультивации.

Приоритетными направлениями рекультивации нарушенных земель в зоне деятельности нефтяных компаний являются 3 направления: лесохозяйственное, санитарно-гигиеническое (природоохранное) и водохозяйственное. Лесохозяйственное направление является преобладающим и обусловлено местонахождением отводимых земель преимущественно в лесной зоне.

Необходимость осуществления рекультивации как комплекса работ по восстановлению нарушенных земель, определяется в зависимости от площади нарушения, близости к источникам обсеменения, влажности грунтов, прогноза восстановления растительности и других параметров. Восстановление древесной растительности на заболоченных территориях происходит удовлетворительно на участках частичного разрушения лесных сообществ: трассы сейсмопрофилей, перетаскивания бурового и иного оборудования, вдоль опушек леса. Сюда же можно отнести самозарастающие участки трасс промысловых трубопроводов,

линий электропередач и т.п., где рекультивация лесохозяйственного направления нецелесообразна по условиям эксплуатации этих участков и ограничивается требованиями нормативных документов. Вследствие незначительного нарушения почвеннорастительного покрова, неглубокого залегания грунтовых вод и сохранности корневищ, семян, спор растений зарастание названных нарушенных участков происходит в течение 1-3-х лет. Этому способствует частичное сохранение подроста, близкое расположение обсеменителей, слабое проявление или отсутствие эрозионных процессов. Участки могут оставаться под естественное зарастание. На песчаных и супесчаных отложениях незначительной мощности вследствие близкого уровня грунтовых вод и возможности капиллярного поднятия влаги самозарастание нарушенных участков протекает активно и в течение нескольких лет формируется устойчивый растительный покров.

Особо сложные условия для восстановления древесных и кустарниковых пород наблюдаются на сухих песчаных грунтах, где запасы влаги в корнеобитаемом слое в вегетационный период становятся ниже доступного для растений уровня и пески подвержены эрозионным процессам. Заселение растениями участков, сложенных песками, может наблюдаться через длительное время после наступления влажных лет. На таких не зарастающих и трудно зарастающих участках целесообразно проведение активных рекультивационных работ с использованием сеянцев сосны с закрытой корневой системой. При значительных нарушениях участков, расположенных на пересеченной местности и возможности появления оврагов на склонах, нужно проведение рекультивационных работ. В качестве посадочного материала для рекультивации нарушенных земель наряду с сеянцами сосны применяется посадка черенков ив местных видов, заготавливаемых поблизости от нарушенных участков. Ивы обладают большой экологической приспособляемостью. При рекультивации откосов буровых площадок, отсыпанных песками, они являются основной породой, способной предотвратить или снизить проявление эрозионных процессов. Санитарно-гигиеническое (природоохранное) направление рекультивации, целью которого является ликвидация нарушенных территорий и снижение их отрицательного влияния на окружающую среду, заключается в создании на нарушенных землях фитоценозов противозерозионного, санитарно-гигиенического и озеленительного назначения. Значительная часть нарушаемых земель в этом регионе располагается в болотном ландшафте, на землях с избыточным увлажнением и их рекультивация осуществляется в водохозяйственном направлении, которое предусматривается Водным кодексом РФ. После окончания использования болота или его части рекультивация проводится преимущественно путем обводнения и искусственного заболачивания.

На основе длительно проводимых исследований и опытных работ в этом регионе, осуществления обследований различных категорий нарушенных земель, основным направлением рекультивации следует считать лесохозяйственное. Нарушенные земли с благоприятным прогнозом восстановления растительности допустимо оставлять под самозарастание. Рекультивацию карьеров, сформировавшихся при добыче торфа, целесообразно осуществлять в водохозяйственном направлении.

УДК 631.46

ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ДО НОРМАТИВОВ КАЧЕСТВА

Ковалева Е.И., Трофимов С.Я.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, katekov@mail.ru

Поллютанты, попадая в почву, оказывают негативное воздействие на ее свойства, плодородие и биологическую активность. Загрязненные почвы представляет опасность для окружающей среды и здоровья человека. Наиболее распространенными видами загрязнителей остаются нефть, нефтепродукты (НП) и тяжелые металлы (ТМ). Поэтому для

природопользователей установлено требование о проведении рекультивации загрязненных земель. Земли подлежат восстановлению до состояния, пригодного для их использования, в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, путем обеспечения соответствия качества земель нормативам качества окружающей среды. Нормативы качества разрабатываются и устанавливаются на предельно допустимом уровне значений, полученных на основании результатов лабораторных испытаний, или на уровне значений (в интервале допустимого отклонения от значений) показателей природного фона, сформировавшегося под влиянием природных факторов, характерных для конкретной территории (Постановление Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. N 149). Экологические нормативы качества почв (земель) устанавливаются для выделяемых однородных в почвенно-экологическом отношении территорий и определяются в соответствии с методиками, утверждаемыми Минприроды России. Для реализации указанной нормы необходима методология разработки нормативов качества почв (земель), опробованная на конкретных примерах на основе данных о загрязнении почв (земель) и влиянии нефтезагрязнения на компоненты окружающей природной среды и экосистемы. Остается много неясностей и вопросов при разработке нормативов качества, главным из которых являются критерии «здоровой» почвы. Рассмотрим проблемы нормирования содержания НП и ТМ в почвах.

До 2021 года нефтезагрязненные почвы подлежали рекультивации до нормативов допустимого остаточного содержания нефти (ДОСНП), установленных для ряда регионов Российской Федерации в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 12.09.2002 № 574 (далее – Приказ 574). Нормативы ДОСНП, базирующиеся на концепции потенциала самоочищения почв, позволяли минимизировать негативное воздействие нефтяного загрязнения и снизить воздействие на компоненты окружающей среды в ходе рекультивации земель, а также способствовали внедрению природоподобных технологий. Приказ 574 разработан во исполнение постановления Правительства Российской Федерации от 15.04.2002 № 240 «О порядке ...», которое утратило силу с 01.01.2021, в связи с чем, Приказ 574 является неактуальным. Следовательно, вопрос о рекультивации нефтезагрязненных земель остается открытым для всех регионов Российской Федерации за исключением территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района и г. Норильска, для которой утверждены нормативы качества почв по содержанию НП постановлением Правительства Красноярского края от 17.12.2021 № 902-п. Нормативы качества почв, в том числе ПДК, в отношении веществ, оказывающих негативное влияние на почвы при аварийных разливах нефти (НП, хлориды, сульфаты и пр.) не разработаны, что не способствует улучшению экологической обстановки в нефтедобывающих регионах. Часто возникают судебные споры, связанные с исчислением размера вреда почвам, выбору фоновых участков. Это свидетельствует о необходимости разработки методической базы для установления нормативов качества почв по содержанию загрязняющих веществ. При установлении нормативов качества почв по содержанию НП, в отличие от других загрязнителей, следует принимать способность почв к самоочищению и самовосстановлению за счет снижения (улетучивания) легких фракций в первые месяцы загрязнения и последующей биodeградации. При этом, начало работ по рекультивации нефтезагрязненных земель отделяет период разработки проекта рекультивации и его согласования с заинтересованными лицами; природопользователи должны приступить к рекультивации в срок не позднее чем 7 месяцев. За время обследования почв и разработки проектной документации происходят качественные и количественные изменения НП в почвах. Следовательно, необходимы новые подходы и критерии к нормированию нефтезагрязнения в почвах наряду с установлением нормативов качества почв по содержанию НП. Нормирование НП в почвах должно предусматривать оценку состава и свойств НП и срока загрязнения, переходу к нормированию не суммарного содержания НП, а отдельных веществ или фракций. Это предполагает не только разработку методологии по

установлению нормативов, но и аттестацию соответствующих методик определения фракций НП и отдельных веществ. Назрела необходимость совершенствования законодательства в части приемки рекультивированных нефтезагрязненных земель с учетом процесса биодegradации НП и самовосстановления почв в целях сохранения благоприятной окружающей среды. Таким образом, вновь актуализирован вопрос нормирования и установления порогового содержания НП, индивидуальных соединений и отдельных фракций в почвах с целью запуска механизма самоочищения на этапе рекультивации без изъятия почв, сохранения почвенного покрова с последующей сдачей земель. Снижение токсичности почв, загрязненных ТМ, возможно только за счет снижения миграционной способности металлов. В настоящее время для ряда ТМ установлены единые санитарно-гигиенические нормативы (ПДК) для валовых форм, являющиеся и нормативами качества, которые дифференцированы с учетом буферности почв и их гранулометрического состава. Между тем, ТМ имеют различные связи с органическими и минеральными веществами в почвах, которые определяют их доступность растениям. Существует необходимость применять новые критерии для нормирования ТМ в почвах с учетом региональных особенностей территорий и хозяйственного использования земель.

В настоящей работе рассматриваются подходы и критерии к установлению нормативов качества почв, отражающих предельно допустимое максимальное содержание НП в почвах, при котором отсутствует негативное воздействие на окружающую среду с учетом особенностей природных территорий. Оценка качества почв должна проводиться экосистемных позиций с учетом экологических функций почв. При разработке нормативов качества следует использовать миграционные показатели, отражающие переход загрязняющих веществ в сопредельные компоненты природной среды. В основе интегральной оценки экологического состояния почв в условиях загрязнения лежат химические, физические и биологические показатели. Набор показателей для обоснования нормативов качества не является единым для всех почв и устанавливается индивидуально. Основной задачей является установление критериев нормы – нарушения «здоровья» почв с учетом разного хозяйственного использования земель.

УДК 631.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ В Г. СЕРПУХОВЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ, ИСТОРИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ

Лапушкин М.В.¹, Васильева Г.К.², Стрижакова Е.Р.²

¹ФГУП ГосНИИ Органической Химии и Технологии, Москва, makslapushkin@gmail.com

²ФИЦ ПНЦБИ РАН Институт Физико-Химических и Биологических Проблем Почвоведения РАН, г. Пущино Московской обл. gkvasilyeva@rambler.ru

В г. Серпухове Московской области, на заводе Конденсатор (в настоящее время ООО «Серпуховский конденсаторный завод КВАР»), около 40 лет, вплоть до 1988 г. при производстве силовых электрических конденсаторов применялось электроизоляционное масло на основе полихлорированных бифенилов (ПХБ), которые в 2001 г. были отнесены к группе суперэкоотоксикантов. Производственные потери ПХБ, а также несовершенство системы отвода и очистки промышленных сточных вод стали причиной загрязнения почв в городе и его окрестностях. Исследования, проведенные в 90-х годах учеными ПНЦБИ РАН и других организаций, показали, что наиболее сильно загрязнена почва на территории площадью около 4 га, примыкающей к заводу Конденсатор, которая находится внутри жилых кварталов города. В соответствии с Санитарными Правилами СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства», степень загрязнения почвы ПХБ данной территории была классифицирована как «очень сильная». Установлено также, что ручей Боровлянка, протекающий по данной загрязненной территории, переносит с водой

ПХБ на другие земельные участки, расположенные ниже по течению от завода, которые в течение сотен лет использовались местным населением для выращивания сельскохозяйственной продукции. В 2001 г. после обнаружения загрязнения этих почв ПХБ (до 1500 мг/кг) сельскохозяйственная деятельность на этом участке была запрещена. Наши исследования, проведенные в 2003 г., показали, что экологическая ситуация на примыкающей к заводу территории оставалась весьма неблагоприятной. В некоторых местах вблизи завода суммарная концентрация ПХБ в верхнем 20-см-вом слое почвы достигала 4300 мг/кг, что на много порядков превышало их ориентировочно допустимый уровень (ОДК) в почве - 2 мкг/кг [Постановление ..., 2021]. При этом, основными компонентами ПХБ являлись тетрахлорбифенилы (4ХБ), в меньшей степени присутствовали бифенилы с 3, 5 и 6 атомами хлора (3ХБ, 5ХБ и 6ХБ), а также следы бифенилов с 7 и 8 атомами хлора (7ХБ и 8ХБ). В результате модельных экспериментов, проведенных нами в 2003-2007 годах с исторически загрязненными почвами, отобранными вблизи завода, была установлена чрезвычайно высокая персистентность ПХБ в этих почвах [Vasilyeva et al., 2010]. Согласно Стокгольмской конвенции 2001 г. о стойких органических загрязнителях - СОЗ (в РФ принята в 2002 г. и ратифицирована в 2011 г.), необходимо выявлять загрязненные ПХБ территории и проводить работы по их рекультивации экологически безопасным способом. Целью наших исследований, продолженных в 2019 г., было изучить современную ситуацию на территории, примыкающей к заводу «КВАР», а в случае необходимости разработать способ рекультивации этих почв и оценить риск его применения непосредственно на данном участке.

Результаты анализов показали, что к тому времени суммарное содержание ПХБ в почве участка колебалось в пределах от 5 до 4500 мг/кг. При этом, компонентный состав данных поллютантов и их распределение в профиле почвы участка значительно изменился. Основная часть ПХБ была представлена конгенерами 3ХБ, и в меньших количествах присутствовали конгенеры 4ХБ, 5ХБ и 6ХБ, а также следы 7ХБ и 8ХБ. Было установлено, что причиной данных изменений на участке явилось заболачивание прилегающей к заводу территории, которое произошло вследствие уменьшения водного стока из-за перегораживания русла ручья Боровлянка грунтом на выходе из участка. В этих условиях в результате процесса восстановительного дехлорирования высокохлорированных бифенилов произошло накоплением низкохлорированных конгенеров (3ХБ>4ХБ), а также их вынос в более глубокие слои почвы и снос по уклону местности [Лапушкин и др., 2020].

С одной стороны, 3ХБ являются более токсичными и подвижными компонентами ПХБ, но с другой - они легче разлагаются аэробными бактериями, а некоторые бактериальные штаммы способны даже использовать их в качестве единственных источников углерода и энергии. Все это указывало на то, что для рекультивации загрязненного участка возможно применение технологии биоремедиации *in situ*. Было сделано предположение о том, что для усиления эффективности биологической очистки ПХБ-загрязненных почв можно совместить ее с приемами фиторемедиации с помощью древесных растений, а также сорбционной биоремедиации, основанной на проведении очистки на фоне внесения сорбентов. Технологии *in situ* фиторемедиации не требуют больших денежных затрат и позволяют выполнять рекультивацию без нарушения ландшафта местности.

В ходе 3-х-летнего микрополевого эксперимента с почвой, отобранной на загрязненной территории г. Серпухова, была доказана эффективность метода фиторемедиации для очистки почвы, хронически загрязненной ПХБ. Установлено, что внесение осадков сточных вод (ОСВ), а также биококка, полученного путем их пиролиза, на фоне увлажнения и аэрации почвы путем периодического перемешивания верхнего слоя почвы значительно снижает токсичность почв и создает условия для активации аэробной почвенной микрофлоры, способной разлагать низко хлорированные бифенилы (3ХБ и 4ХБ). Помимо этого, создаются условия для роста высаженных 3-х-месячных саженцев деревьев ивы прутовидной (*Salix viminalis*) и тополя черного (*Populus nigra*), которые обеспечивают дополнительную

детоксикацию почв за счет поглощения ПХБ корневой системой, включая высокохлорированные бифенилы (5ХБ, 6ХБ, 7ХБ и 8ХБ), которые с трудом подвергаются микробной деградации.

На основании этих результатов был получен патент на изобретение RU №2774078 С1 [Лапушкин М.Ю., Васильева Г.К. и др. «Способ фиторемедиации почв, загрязненных полихлорированными бифенилами» от 25.10.2021]. Способ фиторемедиации ПХБ-загрязнённых почв, состоит во внесении в почву ОСВ, а также биококка, полученного путем их пиролиза, в периодическом увлажнении и рыхлении почвы в течение 1-1,5 мес. с последующим высаживанием саженцев высших растений. Дополнительные исследования показали, что время снижения концентрации ПХБ в почве данного участка до уровня ОДК с помощью предложенного метода колеблется от 3 до 5 лет в зависимости от исходного уровня загрязнения. Расчетная стоимость очистки почвы этим методом составила 7,7 млн руб. за 1 га.

Расчеты, основанные на оценке риска поступления ПХБ из почвы в организм человека, показали, что при уровне загрязнения почвы ПХБ до 200 мг/кг риск применения этого метода является предельно допустимым, тогда как при уровне >2000 мг/кг он неприемлемо высок, а почву необходимо срочно изымать и подвергать дезактивации методом высокотемпературного сжигания на специально оборудованном предприятии.

Проведенная эколого-экономическая экспертиза подтверждает возможность применения разработанного метода фиторемедиации ПХБ-загрязнённых почв для рекультивации основной части исторически загрязненной территории в г. Серпухове, где содержание ПХБ в почве не превышает уровень предельно допустимого риска. Применение этого перспективного природоподобного метода могло бы улучшить экологическую ситуацию в г. Серпухове и в других регионах России.

УДК 631.41

СВОЙСТВА ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО СУЛЬФИДНОГО ОТВАЛА КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Митракова Н.В., Порошина Н.В.

ПГНИУ, Пермь, mitrakovanatalya@mail.ru, navit1@yandex.ru

Угледобывающая деятельность оказывает существенное негативное воздействие на окружающую среду. Происходит прямое изъятие земель под хранение твердых отходов, изменение рельефа, гидрологического режима территории, загрязнение поверхностных и подземных вод, почв. Работа шахт и их закрытие способствуют возникновению кислых шахтных вод. В результате самоизливов, стоков кислых шахтных вод с породных отвалов помимо загрязнения происходят изменения химических и физических свойств почв, смещение рН в сторону сильного подкисления.

Кизеловский угольный бассейн (КУБ) расположен в восточной части Пермского края, шахты были ликвидированы в начале 2000-х гг., однако негативное воздействие на почвенный покров продолжается. В настоящее время накоплено около 100 отвалов, в составе которых присутствуют более 60 видов минералов, в том числе аржиллиты, алевролиты, песчаники, уголь, пирит.

Целью исследования является изучение свойств и эколого-геохимическая оценка техногенных почв, образованных на отвале и участке стока с отвала кислых шахтных вод на одной из шахт КУБа.

Объекты исследования – литострат глинистый и серогумусовая техногенно-трансформированная почва. Литострат образован в результате рекультивации отвала путем засыпки его поверхности глинистым материалом. На участке стока с отвала образована серогумусовая техногенно-трансформированная почва за счет поступления наносов на

поверхность в результате смыва вещества отвала и глины, а также воздействия кислых шахтных вод.

Актуальная и потенциальная кислотность определена потенциометрическим методом; гидролитическая кислотность – методом Каппена; обменная кислотность исследована по методу Соколова; обменный алюминий – спектрофотометрически в виде комплекса с ксиленоловым оранжевым; подвижное железо определено спектрофотометрическим методом с о-фенантролином. Для определения сульфат-ионов использована водная вытяжка почвы; определение подвижной серы основано на извлечении сульфат-ионов 1М раствором KCl (солевая вытяжка); при определении валовой серы по ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.37-2002 проводили кислотное разложение навески почвы смесью хлорной и азотной кислот. Для установления содержания сульфат-ионов в вышеперечисленных вытяжках использовали турбидиметрический метод с хлоридом бария в присутствии стабилизатора - глицерина. Определение микроэлементов (Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) в почвах проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ELAN 9000 после микроволнового кислотного разложения. Определение кислотности почв в перекиси водорода проведено для окисления сульфидных минералов, присутствующих в отвалах и стоках с них. По R.Brinkman и L.J.Pons предварительный предел pH-H₂O₂ для опасных кислых сульфатных почв после обработки их перекисью составляет 2,5. Для статистического анализа использовано программное обеспечение STATISTICA 7, MS Excel и Past 4.03.

Литострат глинистый очень плотный, разделение на горизонты отсутствует, отмечается наличие большого количества включений, мощность прикопки 30 см. Кислотность варьирует от слабокислой в верхнем слое до сильно кислой, pH вод снижается с 4,6 до 2,6. pH с перекисью в нижнем слое 1,2, что указывает на наличие сульфидных минералов.

Содержание органического вещества около 4%. Содержание валовой серы, сульфат-ионов и подвижной серы возрастает с глубиной. Максимальное содержание валовой S отмечено в слое 20-30 и составило 11,9 г/кг почвы. Количество сульфат-ионов и подвижной серы на глубине 20-30 см – 11,6 смоль/ кг и 2200 мг/кг соответственно. Количество подвижного железа с 114 мг/кг в верхнем слое увеличивается до 1100 мг/кг с глубиной. На отвале растительность произрастает очаговое, отмечены представители злаковых, осоковых. Проективное покрытие составляет менее 5%.

Серогумусовая техногенно-трансформированная почва имеет глинистый состав, мощность прикопки около 90 см, отмечены включения гальки большого размера, слои для исследования выделены по наносам и собственным горизонтам почвы, изучено 8 слоев.

Серогумусовая техногенно-трансформированная почва характеризуется кислой реакцией (pH-H₂O= 4,1 в верхнем слое и уменьшается с глубиной до 3,2). Содержание сульфат-ионов и подвижной серы увеличивается с глубиной, при этом максимальное содержание валовой серы отмечено на глубине 21-34 см и составило 11,7 г/кг. Содержание органического углерода максимально в слоях 6-24 и 24-31 см и составило 19,7% и 21,9% соответственно, с глубины 41 см содержание органического углерода около 2%. Судя по всему, высокое содержание органического углерода в верхних слоях связано с наличием включений угля в наносах с отвала. Гидролитическая кислотность незначительно уменьшается по профилю с 24,5 до 14,2 ммоль/100 г. Обменная кислотность и обменный алюминий по профилю изменяются незначительно, составляет 6-12 ммоль/100 г и 18,31 ммоль/100 г соответственно. Растительность представлена единичными видами *Betula* sp., травянистая растительность отсутствует.

Для оценки эколого-геохимического состояния результаты содержания микроэлементов сравнили с ОДК/ПДК для глинистых/суглинистых кислых почв согласно СанПин 1.2.3685-21 и кларками по Виноградову. Во всех почвенных пробах отмечено превышения содержания Cd и As относительно ОДК и кларка по Виноградову. При этом содержание Pb также превышает кларк во всех пробах, а содержание Cu выше кларка в нижнем слое литострата и в серогумусовой техногенно-трансформированной почве в слоях, соответствующих

отвальным наносам. Следует отметить, что согласно Копылову (2013), исследованные почвы входят в Усьвинскую аномальную зону, характеризующуюся площадным распространением Pb, Cd, Cu и Ni.

Статистический анализ показал положительную связь между Hg, Cd, As и Pb с содержанием валовой серы, подвижного железа и органического вещества. Связь данных элементов с серой и железом связана с их халькофильной природой. Связь с органическим веществом, судя по всему, обусловлена наличием углистых частиц, которые могут содержать сульфидные минералы.

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00324, <https://rscf.ru/project/24-27-00324/>».

УДК: 631*618(571.17)

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ МЕДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУЭНАВИСТА ДЕЛЬ КОБРЕ (СОНОРА, МЕКСИКА).

Ромеро Ф. М.¹, Седов С.Н.^{1,2} Диас Х.¹, Мартинес С.¹, Ривера М. Я.¹

¹Институт геологии, Национальный Автономный Университет Мексики (УНАМ), Мехико, e-mail fmrch@geologia.unam.mx;

²Институт криосферы Земли, ФГБУН ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, e-mail serg_sedov@yahoo.com

История добычи полиметаллических руд и развития цветной металлургии в Мексике насчитывает несколько столетий и затрагивает значительную часть территории страны, в связи с чем рекультивация ландшафтов, нарушенных этими производствами, является важной национальной проблемой. Свойства значительной части отходов горнорудной индустрии – отвалов, хвостов, шлакохранилищ и т.п. – таковы, что воссоздание на них полноценных биоценозов невозможно без конструирования на их поверхности искусственного почвенного слоя. В настоящей работе представлен опыт создания искусственной почвы (техносоли) для рекультивации хвостохранилища на руднике Буэнависта дель Кобре – крупнейшего месторождения меди на севере Мексики. Данное месторождение является частью пояса медно-порфириновых месторождений который простирается с севера на юг от Силвер-Белл до Ред-Маунтин (Аризона, США) до Кананеа и Ла-Каридад в штате Сонора на северо-западе Мексики. Добыча ведется открытым способом, отходы обогащательного производства скапливаются в хвостохранилище, занимающем 2000 гектаров. В нём наблюдаются два типа материалов: 1) старые окисленные хвосты, имеющие бурую окраску с красными и жёлтыми оттенками 2) свежие неокисленные хвосты серого цвета. Эти отходы обладают неблагоприятными свойствами, представляющими угрозу окружающей среде, в частности: 1) значения pH варьируют между 2,3 и 8,1 при среднем значении 4,1 2) содержание химических элементов (включая тяжелые металлы) характеризуется следующими значениями (мг/кг): Fe - 18,000, Ca - 4,706 Cu – 754, Mn – 733, Ba – 474, Zn – 279, Pb – 80, Mo – 33, As – 24.

В качестве основного компонента для создания техносолей было решено использовать материал свежих неокисленных хвостов серого цвета, который смешивался с местными геологическими материалами (прежде всего магматическими гидротермально-измененными породами) с добавлением органических компонентов. Лабораторный анализ показал, что в составе серых хвостов преобладают тонкие фракции – пыль и ил, которые в сумме составляют от 54% до 84%. Концентрации Fe, Ca, Cu, Ba, Mn у Zn повышены, однако содержание элементов с высокой токсичностью: As, Cd, Hg, Mo у Pb относительно невелико. Минералогический анализ показал преобладание кварца, микроклина, мусковита в меньших количествах присутствуют пирит и гидроксиды железа; важно отметить наличие глинистых минералов гидротермального происхождения: каолинита, иллита, хлорита и смектита. pH варьирует между 6.1 и 8.1; тем не менее надо также оценить возможность понижения этих

значений в будущем из-за окисления содержащихся в хвостах сульфидов (прежде всего пирита). «Потенциал подкисления» - (в среднем 57 кг CaCO₃ /т) существенно превышает «потенциал нейтрализации» (media = 2.7 kg CaCO₃ /ton), что указывает на то, что в будущем кислотность будет нарастать по мере развития процессов окисления; соответственно, требуются превентивные меры по её нейтрализации.

Непосредственно на территории хвостохранилища были заложены экспериментальные площадки размером 3м x 3м на которых было продемонстрировано успешное использование техносоли следующего состава: 1) 40% материал серых хвостов, с которыми поступали тонкодисперсные фракции, обогащенные глинистыми минералами и гидроксидами железа; 2) 40% геологических материалов, которые обеспечивали присутствие грубодисперсных фракций; 3) 7% известняковый гравий для нейтрализации кислотности; 4) 10% материал верхнего горизонта локальных естественных почв, содержащий гумус гумуса и микроорганизмы 5) 3% - навоз крупного рогатого скота – источник лабильного органического вещества и легкодоступных элементов питания растений. В июне 2022 года данная смесь была уложена слоем 30 см непосредственно на поверхность хвостохранилища, в июле произведён посев местного быстрорастущего злака - *Bouteloua curtipendula*. Уже в начале августа мы наблюдали успешное прорастание и развитие этого злака (см. рисунок 1), а также ряда сопутствующих местных видов – вероятно, их семена содержались в почве и навозе.

Результаты анализа свойств, характеризующих плодородие техносолей экспериментальных площадок, показали следующее: гранулометрический состав – суглинистый, значения pH варьируют между 7.4 и 7,7, электропроводность – в пределах 4.92 - 9.2 dS/m, что говорит об относительно малом содержании солей, преимущественно сульфатов кальция. Содержание органического вещества составляло 1 – 2.3%, концентрации основных питательных элементов варьировали в широких пределах: (i) N-NO₃: 0.1 - 8.68 ppm, среднее 2.5 ppm. (ii) P (метод Брея): 22.6 ppm - 83 ppm, среднее 48.6 ppm. (iii) K: 470 ppm - 1498 ppm, среднее 715.7 ppm. Были определены также повышенные концентрации доступных форм ряда элементов, которые также играют роль в питании растений: Fe: 22.1 - 45.5 ppm, Zn: 13.7 - 104 ppm, Mn: 2.34 - 17.6 ppm, Cu 72.7 - 262 ppm.

Важно отметить высокую катионообменную способность техносолей - от 13.9 до 22.7 м-экв/100г.; при относительно низком содержании органического вещества, она обеспечивается в основном глинистыми минералами гидротермального происхождения, которые были идентифицированы в материале серых хвостов.

Помимо плодородия, важно также оценить геохимические характеристики техносолей, связанных с возможным загрязнением территории контаминантами, содержащимися в отходах горнорудной промышленности. Полученные результаты показывают, что содержание в техносолях токсичных элементов (As, Cd, Hg, Mo и Pb) находятся в пределах интервала фоновых значений. С другой стороны, после добавления в смесь карбонатов в виде известнякового гравия потенциал нейтрализации достиг значений 72.3 кг CaCO₃ /тонну и превысил потенциал подкисления. Это говорит о том, что в будущем, несмотря на продолжающееся окисление пирита, количество нейтрализующих кислотность веществ будет достаточным, чтобы поддерживать нейтральную реакцию субстрата.

Таким образом, сконструированная искусственная почва – техно соль является плодородным субстратом для прорастания, выживания и роста местных видов растений, а также представляет собой «защитный слой», препятствующий росту кислотности и как следствие – способствующий закреплению контаминантов - тяжелых металлов в малоподвижных формах.



Рисунок 1. Развитие местных видов растений на искусственной почве, созданной для рекультивации хвостохранилища рудника Буэнависта дель Кобре

УДК 631.42

ГОДОВОЙ ПРИРОСТ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЛИТОСТРАТАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

Сабирзянова О.В.

Нижевартовский государственный университет, Нижневартовск

e-mail: olesya-fedotova-85@mail.ru

Восстановление почв на нарушенных землях, это не только исполнение законодательства и проектов рекультивации земель. В первую очередь, это возвращение экосистемных функций в оборот окружающей среды. Поэтому, первоначальная, нулевая фаза нарушения является отправной точкой отсчета для восстановления почв и экосистемы в целом. Почва, для леса, является основой роста и питания. При восстановлении почв важен субстрат, который используется в ходе рекультивации земель лесных участков.

За 50 лет интенсивного нефтяного промысла в ХМАО-Югре нарушено 10,1 тыс га.

Основным субстратом при рекультивации служит торф или торфо-песчаная смесь.

Считается, что именно это может восстановить плодородие почв и лесные виды растений будут лучше произрастать на таких участках. В своих исследованиях я затронула тему годового прироста органического вещества на нарушенных территориях средней тайги Западно-Сибирской равнины.

УДК 631.45

Сапцын Р.В.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,

ruslansaptsyn@gmail.com

Изменение почвы в результате антропогенного воздействия приводит к трансформации ее экологических функций, может сопровождаться снижением биопродукции и биоразнообразия. Техногенное нарушение почвы вызывают разные виды загрязнений (тяжелые металлы, нефтепродукты, соли и др.); деградация почвы связана и с прямым нарушением почвенного профиля. Вместо почв могут быть сформированы техногенные

поверхностные образования (ТПО, по классификации почв России, 2004), техносоли (по WRB). К ТПО относятся литостраты – насыпные минеральные грунты, в том числе, отвалы вскрышных и вмещающих пород горнодобывающих и строительных предприятий, грунтовые насыпи и выравненные грунтовые площадки, созданные при разработке и обустройстве месторождений полезных ископаемых, строительстве городов и поселков. В Пермском крае рекультивацию нефтезагрязненных почв проводят путем удаления верхних загрязненных горизонтов почвы для последующей ремедиации в специализированных организациях. На оскальпированную поверхность отсыпают минеральный или органо-минеральный грунт.

Ранней весной 2018 г. из-за разгерметизации нефтепровода произошел разлив нефти и загрязнение почвенно-растительного покрова на площади около одного гектара. На этапе технической рекультивации с загрязненной территории удалили слой почвы мощностью около 50-60 см; затем рельеф поверхности восстановили путем отсыпки на поверхность минерального грунта. В 2022 г. на рекультивированной территории были исследованы морфологическое строение и свойства нарушенной почвы. Цель исследований – на основе данных по агрохимическим и биологическим свойствам нарушенной почвы оценить ее способность к выполнению биогеоценотических функций, связанных восстановлением фитомассы и биоразнообразия травяной экосистемы.

Участок исследований расположен на пониженной равнине со слабым уклоном на юг, почвообразующими породами являются элювиально-делювиальные суглинки. Фоновая почва под травяной растительностью представлена серогумусовой маломощной сильно гумусированной (6,6% гумуса) почвой, имеющей кислую реакцию среды ($pH_{\text{сол}}=5.5-5.7$). В результате технической рекультивации уничтожена верхняя часть серогумусовой почвы мощностью около 60 см. В настоящее время на рекультивированном участке сформирован литострат суглинистый, содержащий мелкие включения литогенных карбонатов. Для литострата характерна слабощелочная реакция почвенной среды, низкое содержание гумуса, низкая активность почвенных ферментов (каталазы, уреазы, инвертазы). В тоже время ТПО обогащено подвижными фосфатами и калием: обеспеченность фосфатами оценили как очень высокую, а калием – повышенную и высокую (по шкале В.Ф. Валькова и др., 2004).

По сравнению с фоновой серогумусовой почвой, в литострате содержание органического углерода ниже более чем в 2 раза. В нем содержание подвижного калия выше в несколько раз, но активность инвертазы в несколько раз ниже. Уреазная активность литострата в 2 раза меньше, по сравнению с верхней частью серогумусового горизонта почвы. Остальные характеристики литострата и серогумусовой почвы относительно близкие ($pH_{\text{вод}}$, активность каталазы, содержание подвижных фосфатов).

Остаточное содержание нефтепродуктов в литострате находилось в пределах 106 ± 11 мг/100 г в слое 0-20 см и 94 ± 7 мг/кг в слое 20-40 см. Нефтепродукты отрицательно повлияли на развитие тест-культуры (кресс-салат). Зависимость длины растений от содержания нефтепродуктов выражена уравнением: $y=47,3-0,046x$; критерий Фишера $F=2,17$; коэффициент корреляции $R=-0,39$; уровень значимости $P=0,0484$. Действие остаточных нефтепродуктов на массу кресс-салата оказалось более значительным, уравнение регрессии следующего вида: $y=25,8 - 0,0535x$; $F=5,92$; $R=-0,58$; $P=0,0001$. Согласно уравнению, адекватному полученным данным, при наименьшем загрязнении 60 мг/кг почвогрунта надземная масса растений кресс-салата составляла 22,6 мг, а при загрязнении 140 мг/кг почвы масса снижалась на 19%, до 18,3 мг. Отрицательное влияние остаточных нефтепродуктов на развитие растений, может быть обусловлено прямым воздействием на растения нефтепродуктов, а также косвенным – через ухудшение водно-физических и воздушных свойств почвы. Значимых зависимостей между свойствами почвы, а также связи между содержанием остаточных нефтепродуктов и ферментативной активностью литострата не установлено.

Агрохимические и биохимические свойства литострата и серогумусовой почвы

Объект	Слой, см	pHвод	Сорг, %	Подвижные формы, мг/100 г		Каталаза, мл 0,1 KMnO ₄ * 1 г*20 мин	Уреаз а, мг N-NH ₄ * 1г*24 ч	Инвертаза, мг глюкозы* 1г*24 ч
				P ₂ O ₅	К			
Литострат	0-20	7,66±0,04	1,59±0,20	7,48±1,26	15,6±0,07	1,27±0,01	1,3±0,02	9,5±0,5
	20-40	7,76±0,04	1,25±0,24	6,91±0,92	15,4±1,04	1,27±0,01	1,6±0,02	9,3±0,4
Почва	0-20	6,7	3,94	11,3	4,6	1,28	2,9	25,2
	20-40	7,2	3,82	7,84	5,2	1,26	0,6	28,3

Выполнение литостратом экологических функций почвы и биологический потенциал самовосстановления экосистемы оценили по совокупности агрохимических и биологических свойств с применением метода математической оптимизации.

Из полученных данных по свойствам литострата ($x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$) выбрали оптимум – минимальное (x_{\min}) или максимальное (x_{\max}) значение. Оптимальным значением для pH является значение наиболее близкое к нейтральному (pH=7). В качестве оптимума для содержания органического углерода, показателей длины, массы тест-культуры, подвижных фосфатов и калия, активности ферментов использованы максимальные значения (x_{\max}). В качестве оптимума для редокс-активности кресс-салата взяли минимальный показатель (x_{\min}), который указывает на относительно слабое проявление окислительного стресса у растений. Относительно оптимума рассчитали нормированные значения показателей: $x_k = x_{\min} / x_n$, или $x_k = x_n / x_{\max}$. Путем сложения нормированных значений ($\sum x_k$) получили критерий оптимизации для каждого опробования литострата и фоновой почвы.

Максимальный коэффициент оптимизации установлен для верхней части серогумусового горизонта фоновой почвы, в котором высокие нормированные коэффициенты значений органического углерода, обеспеченности фосфатами и ферментативной активности.

Коэффициенты оптимизации в слое 0-20 см литострата ниже на 8-24%, по сравнению с коэффициентом оптимизации слоя 0-20 см серогумусового горизонта. В двух пробах из слоя 20-40 см литострата коэффициенты оптимизации ниже на 9 и 20%, чем коэффициенты оптимизации слоя 20-40 см серогумусовой почвы. Но в остальных пробах из слоя 20-40 см литострата и почвы коэффициенты оптимизации были практически одинаковыми.

Несмотря на низкий уровень содержания остаточных нефтепродуктов и общую пригодность литострата для восстановления травяной экосистемы, уничтожение серогумусовой почвы с последующей ее заменой на литострат следует рассматривать как нанесение экологического ущерба.

УДК 574.7

ВЛИЯНИЕ ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ НА ДЫХАНИЕ ПОЧВ ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ КАРЕЛИИ

Семин Д.Е., Ахметова Г.В., Придача В.Б.

Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, semind@krc.karelia.ru

Добыча полезных ископаемых открытым способом вызывает *существенные деструктивные* изменения растительного и почвенного покрова природных экосистем, что отражается на составляющих их углеродного баланса. Восстановление почвы и растительности на нарушенных землях занимает длительный период, ускорить который можно при использовании методов лесной рекультивации. *Целью исследования была оценка* динамики эмиссии CO₂ с поверхности почвы и ее микробной активности в ходе посттехногенной

сукцессии почв при проведении лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в условиях среднетаежной подзоны Карелии.

Работа выполнена в европейской части средней тайги на территории оработанного песчано-гравийного карьера (Республика Карелия, 62.101917° N, 33.969944° E) в июле 2021–2022 гг. Рекультивацию посттехногенной территории провели в 1991 г. посредством посадки однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на предварительно выровненном участке площадью 2 га. На небольшом участке площадью 0.5 га сеянцы сосны высаживали в песчаный техногенный грунт, на поверхность которого предварительно вносили торфяной субстрат. Через 30 лет после проведения рекультивационных мероприятий нами проведена оценка биологической активности почв на модельных участках (размером 25 × 40 м) с разными вариантами рекультивации: 1) посредством посадки сосны в песчано-гравийный минеральный грунт (ПП 1, ПП 2); 2) в улучшенный торфом субстрат (ПП 3). Контролем послужили естественные почвы (подбур оподзоленный, Entic Podzol) ненарушенного 110-летнего сосняка брусничного (ПП 4, 30 × 40 м), существовавшего на данной территории до начала разработки карьера. Почвы посттехногенных ПП 1, ПП 2 (псаммозем серогумусовый, Skeletic Leptosol) и ПП 3 (реплантозем серогумусовый, Umbric Leptosol) находятся на начальных стадиях почвообразования и имеют укороченный маломощный профиль (30–35 см), для которого отмечена слабая дифференциация на генетические горизонты. Восстановление напочвенного покрова на ПП 1 и ПП 2 реализуется по типу сосняка лишайникового, на ПП 3 – сосняка черничного.

Наблюдения проводили в течение двух контрастных вегетационных сезонов 2021 (жаркий засушливый) и 2022 гг. (теплый дождливый). Полевые исследования почвенной эмиссии CO₂ проводили методом закрытых камер посредством инфракрасного газоанализатора LI-8100A (LI-Cor Inc., США), оснащенного датчиками температуры почвы (Omega, США) и влажности почвы ECH₂O EC-5 (Decagon Devices, Inc., США) в дневной динамике с периодичностью 4 раза в месяц. На каждой ПП устанавливали по 6 колец диаметром 20 см в межкрупной зоне деревьев между растениями травяно-кустарничкового яруса на расстоянии 3–5 м. Измерения величины потока CO₂ с поверхности почв проводили в течение 90 секунд с интервалом в 30 секунд между измерениями согласно штатной конфигурации прибора в 3-кратной повторности для каждого кольца. Измерение микробного (базального) дыхания проводили в камеральных условиях в образцах почвы, выдержанных в течение 7 суток при оптимальных гидротермических условиях (температура воздуха 22°C, 60% полевой влагоемкости). Содержание углерода микробной биомассы в почве рассчитывали с учетом величины скорости субстрат-индуцированного дыхания.

Проведенное исследование влияния различных приемов лесорекультивации нарушенных земель на составляющие углеродного баланса выявило значимое влияние как фитоценологических условий, так и года исследований на величину почвенной эмиссии CO₂. Наименьшие величины почвенной эмиссии CO₂ отмечены в условиях псаммоземов ПП 1 и ПП 2 по сравнению с реплантоземом ПП 3 и естественными почвами ПП 4. *Факт более высоких значений дыхания почвы в улучшенных посттехногенных (ПП 3) и фоновых природных условиях (ПП 4) можно объяснить как более высоким плодородием их почв относительно ПП 1 и ПП 2, так и вкладом лесной подстилки, а также большим вкладом корневого дыхания вследствие большей биомассы корней более высокопродуктивных древостоев на ПП 3 и ПП 4. Представляется вероятным и большой вклад гетеротрофной компоненты в почвенную эмиссию CO₂ на ПП 3 и ПП 4, что хорошо согласуется с более высокими значениями измеренного в лабораторных условиях почвенного микробного дыхания, содержания углерода микробной биомассы и коэффициента микробного дыхания почв ПП 3 и ПП 4 по сравнению с таковыми для ПП 1 и ПП 2.* Кроме того, отмеченные различия могут быть связаны с термическим режимом почв ПП 1 и ПП 2, температура которых в июле 2021 и 2022 г. в 1.6 раза превышала таковую почв ПП 3 и ПП 4.

Важно отметить существенное увеличение почвенного дыхания в условиях *ПП 3 и ПП 4 (в 1.5 и 1.8. раза соответственно)* в более влажный сезон 2022 г. относительно 2021 г. Вместе с тем, бóльшая стабилизация значений почвенной эмиссии в межгодовой динамике в условиях ПП 1 и ПП 2 может быть связана с более высоким испарением влаги вследствие большего прогрева почвы на фоне отсутствия лесной подстилки по сравнению с показателями *ПП 3 и ПП 4*.

Таким образом, использование богатого питательными веществами и диаспорами растений торфяного субстрата при создании лесных культур сосны на посттехногенной территории значительно ускорило процессы восстановления почвенно-растительного покрова (ПП 3). Значительное накопление органического углерода в реплантоземах индуцирует рост дыхательной активности почв *до значений, характерных для природных ненарушенных почв (ПП 4)*. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозных оценок трансформации почвенно-растительного покрова посттехногенных экосистем в различных пространственных и временных масштабах.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 504.03/.06:622.271.3

ОЦЕНКА ЛИТОГЕННЫХ РЕСУРСОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОРНЕОБИТАЕМОГО СЛОЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Семина И.С.,

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк
e-mail: semina.i@mail.ru

В результате функционирования горнодобывающего и перерабатывающего производства образуются отходы, которые складываются в отвалы и хвостохранилища, и занимают значительные площади в угледобывающих районах.

Перспективы восстановления техногенных ландшафтов определяются их почвенно-экологическим состоянием, которое, в свою очередь, зависит от климатогенных и литогенных условий, и выражаются в особенностях состава и дифференциации почвенного покрова на отвалах. По результатам многолетних исследований установлено, что способность той или иной породы (рыхлый или каменистый субстрат) к формированию почвенного профиля, соответствующего профилю зональных почв, неодинаковая и напрямую зависит от потенциала исходного субстрата, его петрографического, минерального, химического составов, физических, водно-физических свойств и природно-климатических условий района.

Техногенные ландшафты объекта исследования представлены внутренними и внешними отвалами. Объектом исследования является площадка внешнего отвала для создания экологического полигона. Субстрат на поверхности внешнего отвала представлен техногенным элювием (в петрографическом отношении это хаотичная смесь из алевролитов, аргиллитов, песчаников и углистых частиц). С целью оценки геохимического статуса техногенного элювия на поверхности отвала, потенциально-плодородной породы (делювиальные суглинки и глины с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород, далее – суглинки и глины) и возможного их использования в качестве верхнего, корнеобитаемого слоя на экологическом полигоне были проведены исследования

содержания подвижных и валовых форм основных токсичных элементов, а также оценены агрохимические и физические свойства исследуемых образцов.

Для анализа физических, химических и агрохимических свойств техногенного элювия и потенциально-плодородной породы (суглинки и глины) были использованы следующие методы: спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, атомно-абсорбционной спектрометрии, фотометрии, потенциометрии. Физические свойства определялись общепринятыми методами: гранулометрический состав мелкозёма определялся по методу Н.А. Качинского, минералогический состав изучался под стереомикроскопом ЛабоСтеми-4 зум, а также в отраженном и проходящем свете под микроскопом ЛабоПол-2 РПО. Проведенные исследования образцов техногенного элювия показали, что вещественный состав, предопределяющий их свойства, влияющий на выбор направлений и возможного использования в рекультивации нарушенных земель и определяющий их экологическую безопасность, характеризуется содержанием углистых частиц, которые обуславливают содержание углерода, а также тех элементов, которые входят в состав угля и вмещающих пород. Содержание токсичных элементов в подвижных формах, отражающее уровень доступности для питания растений и миграцию этих элементов в водную среду (кобальт, марганец, медь, цинк) практически во всех образцах, не превышает нормируемых показателей для зональных типов почв. Отмечается превышение ПДК для подвижных форм марганца (0,5 ПДК) на техногенном элювии. Анализ содержания токсичных элементов в валовой форме техногенного элювия показывает, что практически все элементы содержатся в концентрациях ниже ПДК, ОДК и не превышают нормируемых показателей для зональных типов почв. Однако, отмечается превышение ПДК для валовых форм мышьяка в образцах техногенного элювия (0,5 – 2 ПДК). Для сравнения результатов исследуемых образцов использовались величины ОДК, так как в структуре почвенного покрова исследуемого объекта зональных почв преобладают почвы с кислой или слабокислой реакцией среды, а также почвы близкие к нейтральной реакции среды. Потенциально-плодородная порода (глины и суглинки), которые в данном районе являются наиболее ценным ресурсом для создания верхнего корнеобитаемого слоя, характеризуются значительно меньшим содержанием токсичных элементов.

Плотность сложения исследуемых образцов варьирует (суглинки – 1,58 г/см³, техногенный элювий – 2,21 г/см³). Образцы техногенного элювия имеют незначительное содержание фракции физической глины – 16,02 %, доля частиц диаметром <1 (мм), % от массы всей породы составляет всего 20 %, что обусловлено высокой каменистостью техногенного субстрата. По химическому составу все исследуемые образцы можно отнести к силикатному и алюмосиликатному составу. Установлено, что в образцах преобладают оксид кремния SiO₂ (от 60 до 70,25 %), оксид алюминия Al₂O₃ (от 11,46 до 17,30 %), а также оксиды железа (от 5,43 до 7,06 %), кальция (от 0,80 до 2,94 %) и магния (от 1,33 до 2,31 %).

Исследования вещественного состава техногенного элювия, предопределяющие их свойства и направления использования в рекультивации нарушенных земель, показали, что материалы имеют особенность – наличие углистых частиц и углистого вещества, что обуславливает содержание органического углерода. Наибольшее значение органического углерода зафиксировано в техногенном элювии, сформированном на поверхности отвала, и составляет от 3,92 % до 4,10 %. Из результатов исследования основных элементов питания в доступной форме для растений – калия и фосфора, следует, что исследуемые образцы техногенного элювия обладают незначительными показателями (P₂O₅ – от 5,5 до 12,5 мг/кг; K₂O – от 112 до 196 мг/кг). Валовое содержание азота изменяется в диапазоне от 0,08 до 0,10 %. Установлено, что, техногенный элювий в слое 0 – 20 см имеют высокую каменистость субстрата и щелочную реакцию среды (рН 8,55 – 9,06), что может оказывать влияние на развитие растительного покрова и почвообразовательного процесса, а также в летний период будет способствовать высокому ксероморфизму (тепловой режим и неблагоприятные водно-физические свойства).

В районе исследования рыхлые четвертичные отложения повсеместно покрывают коренные породы и, в основном, представлены делювиальными суглинками и глинами с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород. По гранулометрическому составу суглинки можно отнести к пылеватым разновидностям – содержание пылеватых фракций составляет от 16,71 до 35,5 %, содержание илистой фракции ($< 0,001$) – 15,23 %. На основании результатов минералогического исследования, следует, что в суглинках и глинах преобладают минералы монтмориллонитовой группы, которые обладают высокой дисперсностью и гидрофильностью, что благоприятно влияет на влажность субстрата, а также обуславливает высокую емкость поглощения.

Из результатов аналитических исследований следует, что гумусовые вещества собственно педогенного происхождения присутствуют только в глинах и суглинках. Их содержание изменяется от 1,42 до 3,02 %. По содержанию основных элементов в доступной форме для питания растений – калия и фосфора – наилучшие показатели также выявлены в потенциально плодородной породе (глины и суглинки) для биологического освоения (P_2O_5 – от 374 до 411 мг/кг; K_2O – от 213 до 235 мг/кг). Также, зафиксированы оптимальные значения реакция среды (рН 6,7 – 7,1). Содержание водорастворимых солей во всех исследуемых образцах, в сухом остатке, составляет не более от 0,1 %.

Таким образом, к литогенным природным ресурсам рекультивации, пригодным для биологического освоения растительным сообществом, следует отнести только зональные почвы и потенциально плодородные породы (суглинки и глины) и поэтому, данные литогенные ресурсы целесообразно использовать для формирования верхнего, корнеобитаемого слоя на экологическом полигоне. Наибольшей плотностью и устойчивостью к разрушению обладают песчаники, поэтому с экологической точки зрения целесообразно данный вид вскрышной породы использовать для выравнивания техногенного рельефа и формирования устойчивого основания.

УДК 631.618

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ АНТРАЦИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ

Соколов Д.А.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, sokolovdenis@issa-siberia.ru

В настоящее время в связи актуализацией вопросов, связанных с эмиссией и секвестрацией углерода, особый интерес заслуживают техногенные ландшафты, представленные отвалами угольных месторождений. С одной стороны, это обусловлено содержанием в отвалах большого количества некондиционного угля, который может выступать источником климатически активных газов. С другой, в результате почвообразования на поверхности техногенных ландшафтов происходит активная аккумуляция органического углерода в виде гумусовых и других органических веществ. Также не менее актуальной проблемой, связанной с трансформацией органического вещества в углесодержащих почвах, является образование органических поллютантов.

В настоящее время в литературе уделяется достаточного много внимания органическому веществу почв отходов угледобычи. Однако, высокая пространственная неоднородность состава пород отвалов, а также то, что все существующие методы нацелены на исследование органического вещества во фракции < 1 мм, не позволяют в полной мере оценить масштаб последствий процессов его преобразования.

Исследования проводились на внешних транспортных отвалах Горловского антрацитового месторождения (Новосибирская область). Участки для закладки почвенных разрезов выбирались с тем расчетом чтобы охватить местообитания, дифференцированные по рельефу, растительности, возрасту и составу почвообразующих пород. В составе почвенного покрова в соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов ИПА СО РАН

выделяли инициальные, органо-аккумулятивные и дерновые эмбриоземы, для каждого из которых характерен определенный тип аккумуляции и/или трансформации органического вещества.

Содержание углерода вновь образованного органического вещества и унаследованного от почвообразующих пород (рис. 1). оценивалось различными методами. Так в мелкозем определяли углерод литогенного (Слит), педогенного (Спед) и неспецифического органического вещества (Снесп), в крупноземе – углерод крупных корней (Сккор) и включений угля (Суг).

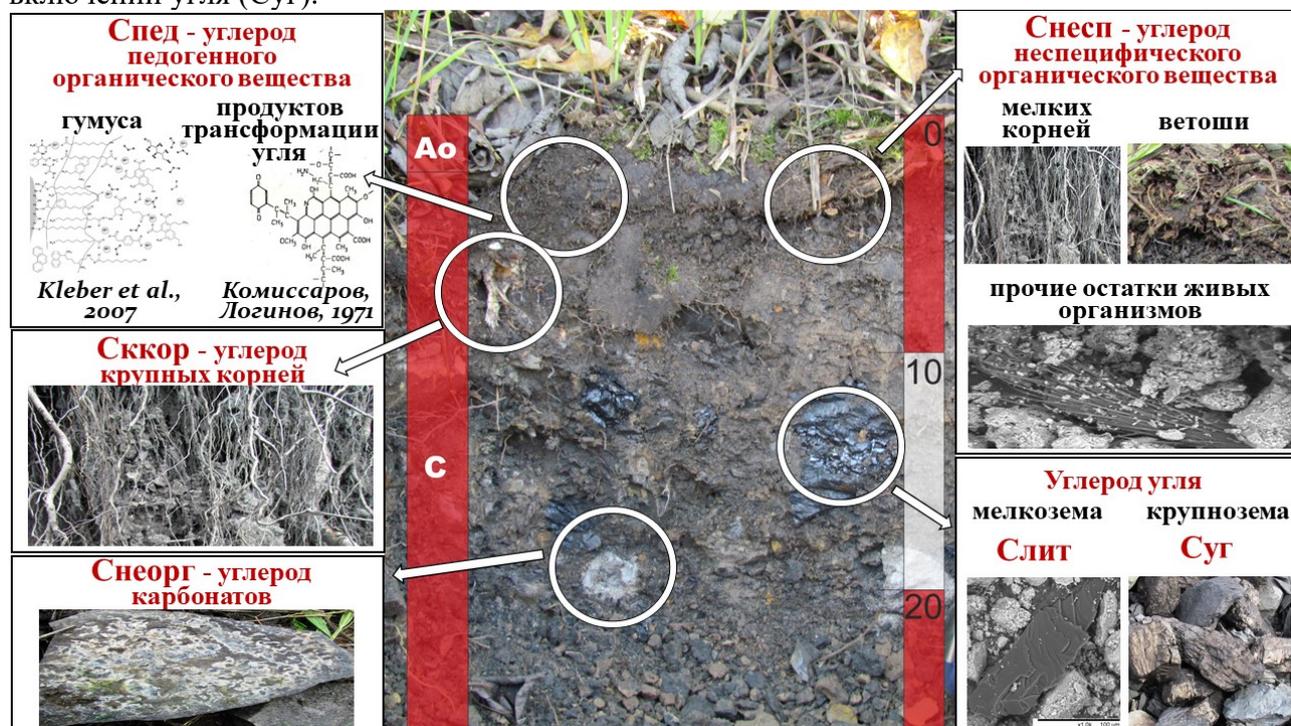


Рисунок 1. Общая схема структуры пулов углерода в эмбриоземах.

Полученные результаты показывают, что исследуемые почвы характеризуются широким разбросом (1,9-36,1%) и, в целом, высокими значениями содержания (средние и медианные составляют $13 \pm 1\%$) органического углерода. Основная доля углерода эмбриоземов приходится на включения углистых частиц (на Суг до 49,8%, на Слит до 79,9 %) и неспецифическое органическое вещество (на Снесп до 95,2 %). Вклад педогенного углерода (Спед), определяемого традиционным методом бихроматного окисления (метода Тюрина), не превышает 18%. По мере выветривания каменистых отдельностей, а также почвообразования углерод из крупнообломочных фракций переходит в пулы менее устойчивого к окислению литогенного (Слит), неспецифического (Снесп) и педогенного (Спед) органического вещества мелкозема. Более активно этот процесс протекает на горизонтальных спланированных участках и усиливается в эволюционном ряду почв инициальные < органо-аккумулятивные < дерновые эмбриоземы. Почвы участков, отсыпанных безугольными рыхлыми осадочными породами, имеют максимальный потенциал секвестрации углерода. Содержание углерода в них в слое 0-20 см достигает 4,6-13,1%, а скорость накопления в первые 20 лет 0,2-0,6% в год.

Трансформация органического вещества в углесодержащих почвах отвалов сопровождается не только накоплением педогенных и биогенных соединений, но и образованием способных к миграции органических поллютантов таких как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Содержание полиаренов в исследуемых почвах варьирует в широких пределах (от 100 до 74622 нг/г).

Отмеченные особенности необходимо учитывать при проведении рекультивационных мероприятий и оценке углеродного следа угледобычи. С целью минимизации негативных

последствий, связанных с трансформацией углей в отвалах отходов добычи угля, и повышению секвестрирующей способности техногенных почв поверхность отвалов необходимо формировать рыхлыми осадочными породами.

УДК 631.48

НАКОПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА В ЭМБРИОЗЕМАХ НА ОТВАЛАХ КМА

Тихонова Е.Н., Трещевская Э.И., Малинина Т.А.

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, e-mail: tichonova-9@mail.ru

Техногенные нарушения природных ландшафтов в районе Лебединского горно-обогатительного комбината КМА (ЛГОК) приводят к полному уничтожению почвенного покрова на многих тысячах гектаров. Естественные и культурные угодья на значительных площадях заменяются техногенными пустошами. Возникая как ряд катастрофических аварий, горнопромышленные отвалы вскрышных пород ЛГОКа имеют фиксированный «ноль-момент» начала почвообразования. Поэтому они могут служить удобной моделью для наблюдения за зарождением, скоростью и направленностью развития молодых почв в относительно разных экологических нишах.

Полевые наблюдения за ходом развития молодых почв на гидроотвалах горнопромышленных пространств ЛГОКа показали, что темпы их развития находятся под строгим функциональным контролем гранулометрического, минералогического и химического состава грунтосмесей гидроотвалов и их стратиграфической расчлененности и господствующих видов конкретных фитоценозов. Появившиеся на отвалах ЛГОКа растительные сообщества имеют многие схожие черты с экосистемами естественных зональных почв. В той самой мере, насколько пионерным растительным ассоциациям удастся достигнуть сходства с зональными биоценозами, настолько и в молодых почвах отвалов появятся функциональные, вещественные, атрибутные и морфологические признаки, характерные для основных зональных типов почв лесостепи на тех или иных материнских породах.

Известный факт, что ведущими процессами начального почвообразования являются: биогенная аккумуляция веществ и трансформация органического вещества. Оценка запасов углерода в процессе восстановления нарушенных ландшафтов является актуальной задачей в связи с глобальным изменением климата. Цель нашей работы – оценка скорости формирования почвенного органического вещества и запасов углерода в эмбриональных почвах, на территориях, нарушенных горнодобывающей промышленностью в районе Курской магнитной аномалии.

После появления зачаточной почвы происходят взаимообусловленные и параллельные изменения как самой возникнувшей (зародившейся) почвы, так и окружающей ее среды. С зарождением и прогрессивным развитием этих почв, они все сильнее и масштабнее влияют на окружающие, и как долго считалось, независимые от них, внешние условия. Обратная связь и ответные реакции с обеих сторон приводят к снижению контрастности микроклимата, уменьшению экологических рисков биоценозов и росту их эдафической комфортности. Под покровом фитоценозов заметно стабилизируется микроклимат, увеличение мортмассы, расширение видового состава флоры и фауны и их специализации, растет разнообразие и емкость биокруговорота, ускоряются его темпы. Все это ведет к оживлению и форсированию биогенного развития молодых почв. В свою очередь, взросление почв и накопления ими плодородия, не стимулируя друг друга, почвы и их растительность год от года образуют все более продуктивные, устойчивые и динамически сбалансированные биогеоценозы.

Расчет запаса углерода в эмбриональных почвах Курской магнитной аномалии проводили в образцах, отобранных специальным пробоотборником послойно, по 2 см до глубины 10 см и

по 5 см до глубины 20 см. Связано это с детальным изучением качественных показателей начального процесса почвообразования. Отбор проводился под травянистыми биоценозами. При расчете применялась общепринятая методика. (<https://ritm-c.ru/>) Полученные данные показывают, что в верхнем слое 0-2 см, где сконцентрировано максимальное количество органического вещества при начальном процессе почвообразования, запас углерода составляет 5,5 т/га, следующее распределение до глубины 20 см представлено следующим образом: 2,78 т/га (2-4 см) – 1,97 т/га (4-6 см) – 1,90 т/га (6-8 см) – 1,79 т/га (8-10 см) – 1,82 т/га (10-15 см) – 1,65 т/га (15-20 см). Общий запас углерода в эмбриоземах под травянистыми сообществами на нарушенных территориях отвалов ЛГОКа составляет 17,41 т/га. Согласно данным, полученным на контрольных участках лесостепи, запасы углерода в природных зональных экосистемах под травянистыми сообществами достигают 450 т/га в метровом слое развитых почв.

Большая площадь рекультивированных территорий в нашей стране дает возможность изучения запасов углерода во вновь образующихся почвах и растениях, используемых в биологическом этапе восстановления ландшафтов. Полученные данные позволят учитывать современные и потенциальные запасы углерода в молодых почвах и в фитомассе, что поможет усилить размеры секвестрированного атмосферного углерода живыми организмами, способными выполнять биосферные функции.

УДК 57.044; 631.46

ОПЫТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА УРУПСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ВЫПОЛНЕНИЮ ЕЮ ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ
Храпай Е.С., Кузина А.А., Колесников С.И.

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: katerinap1996@mail.ru

Урупский горно-обогатительный комбинат (ГОК) крупнейшее предприятие добычи и обогащения меди на Юге России. Цветная металлургия сопряжена с выделением огромного количества отходов, которые представляют высокую угрозу для окружающей среды. В состав отходов (пульпы) входят тяжелые металлы в высоких концентрациях, во много раз превышающие предельно допустимые. Следовательно, хвостохранилища являются угрозой для природной экосистемы. После прекращения эксплуатации для уменьшения загрязняющего действия хвостохранилища рекультивируют.

Цель работы – оценить эффективность рекультивации по содержанию в почве тяжелых металлов и выполнению ею экосистемных функций.

Образцы почвы рекультивированного хвостохранилища Урупского ГОК (Карачаево-Черкесская Республика, Урупский район) отбирали на глубину до 90 см. В качестве фоновых почв исследовали горно-луговые черноземовидные почвы характерные для данной территории.

Биологические показатели определяли с помощью общепринятых методов: активность почвенной каталазы оценивали газометрическим методом, активность дегидрогеназ – методом восстановления индикаторов с низким редокс-потенциалом — переходом хлорида трифенилтетразолия в трифенилформазан, обилие бактерий рода *Azotobacter* учитывали методом обрастания почвенных комочков на не подкисленной среде Эшби; общую численность бактерий в почве учитывали методом прямой люминесцентной микроскопии; фитотоксические показатели определяли с помощью растительного тест-объекта по всхожести и интенсивности начального роста (длина корней) проростков редиса (*Raphanus sativus L.*). Для определения интегрального состояния почвы по микробиологическим, биохимическим и фитотоксическим показателям рассчитывался интегральный показатель состояния (ИПБС) почвы.

Содержание в почве тяжелых металлов определяли рентгенофлуоресцентным методом. Оценку загрязнения проводили с помощью единого индекса загрязнения, индекса нагрузки загрязнения, интегрального индекса загрязнения Немерова, потенциального экологического риска и суммарного показателя загрязнения.

В результате исследования установлено, что содержание тяжелых металлов в почве рекультивированного хвостохранилища не превышает ПДК. По большинству рассчитанных индексов почва рекультивированного хвостохранилища относится к незагрязненным.

Биологические показатели большинства проб рекультивированной почвы близки к фоновой почве. ИПБС рекультивированной почвы свидетельствует о выполнении ее экосистемных функций на уровне фоновой почвы. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии загрязнения тяжелыми металлами и нарушений экосистемных функций по сравнению с фоновой почвой. Следовательно, рекультивация проведена качественно, экосистема восстановлена.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-74-01071, <https://rscf.ru/project/23-74-01071/> в Южном федеральном университете.

(W) ПОДКОМИССИЯ ПО ОХРАНЕ ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ

УДК 551.4.023, 551.4.042

СТАЦИОНАРНЫЙ МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ГОЛОЦЕНОВЫХ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ НА ЭРОЗИОННЫХ БЕРЕГАХ РЕКИ ОКИ

Воробьев А.Ю.¹, Александровский А.Л.², Кадыров А.С.¹, Локтеев Д.С.³, Бургов Е.В.^{4,5}, Балобина А.А.⁶

¹Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, a.vorobyov90@mail.ru, aliexsandr.kadyrov.93@mail.ru

²Институт Географии РАН, Москва, alexandrovskiy@mail.ru

³Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, lokteev@gmail.com

⁴Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, burgov.ev@yandex.ru

⁵Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук, Москва, burgov.ev@yandex.ru

⁶Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, balobina-anna@rambler.ru

Средоточием почвенных ресурсов территории традиционно признаются гумусово-аккумулятивные горизонты дневных почв. Для оценки их потерь в процессе ежегодной эрозии пойменных берегов реки Оки (крупнейший правый приток реки Волги) нами использовались геодезические методы. Фиксировалась морфология поверхности руслового склона и отступление (обрушение) эродируемого берега поймы вместе с включенными в толщу аллювия почвами. В пределах четырех полустационаров на вогнутых берегах активных окских излучин были заложены шурфы и разрезы, показавшие наличие под современными педонами педолитокомплексов из одной или нескольких погребенных почв (ПП). Наземная геодезическая съемка и сканирование надводных частей берегов р. Оки (с применением беспилотных летательных аппаратов), проводившиеся с осени 2021 года по осень 2023 года, свидетельствуют, что ежегодные объемы переработки берега на 1 погонный метр длины откоса составляют 7,1 м³. За два года на полустационарах, имеющих протяженность 1,4 км по руслу, было уничтожено 0,29 га земельного фонда и экспортировано 20815 м³ твердофазного материала. Съемка по сезонам климатического года установила, что 75% объема почвогрунтов эродируется во время половодья, остальная часть – за летне-осенний сезон, и происходит это в связи с активизацией склонового, зоогенного и антропогенного морфолитогенеза, а также ливневого размыва.

С 2015 года осуществляется определение содержания органического вещества (ОВ) (фотометрическим методом в САС «Рязанская») и физических свойств почв в их гумусово-аккумулятивных горизонтах. Предварительные данные о запасах углерода в слое 0-50 см от поверхности поймы свидетельствуют, что потери 1 м² территории на учетных площадках сопровождаются безвозвратным экспортом около 22 кг органического углерода дневных почв. Гранулометрический состав горизонта А1 варьируется от супесчаного до суглинистого, что определяет различия в сорбционных возможностях минеральной матрицы и запасах ОВ. На большинстве позиций почвы переуплотнены, поскольку вблизи пойменной бровки пролегают грунтовые автомобильные дороги. При продвижении эрозии вглубь поймы оценки запасов ОВ с хронологической периодизацией в несколько лет оказываются достаточно устойчивыми.

Эволюция рельефа на полустационарах в течение голоцена создала сочетания комплексов форм относительно молодой сегментно-гивистой и снивелированной наложенной поймы. Последняя имеет нетипичную стратиграфию: пойменная фация аллювия подстилается базальной мореной, по-видимому, днепровского возраста с включениями

крупнообломочного материала. Тяжелые суглинки (иногда – легкие глины) кровли ледниковых осадков стали материнской породой для темноцветной ПП, которая встречается на трех учетных площадках. Мощность прокрашенной гумусом толщи подобного реликтового продукта лесостепного педогенеза местами превышает 1 м, также обнаружены и более молодые палепочвы, залегающие выше по разрезам, однако развиты они гораздо слабее и запасы углерода в них меньше. Так, на четвертом полустационаре («Костино») обнаружена только одна палеопочва, которая по своей морфологии может быть классифицирована как серая лесная. Различия в стратиграфическом строении определяют неодинаковые общие запасы ОВ в геологических телах ключевых участков – при высоте берегов р. Оки 5,5-7,0 м они колеблются от 41,8 кг/м² до 78,9 кг/м².

На двух учетных площадках определен ¹⁴C возраст суммы гуминовых кислот (ГК) для 8 образцов датирующего материала, отобранного из педолитокомплексов. Возраст ОВ из горизонта А1 темноцветной ПП находится в интервале 12630-10109 календарных лет назад (все датировки получены в Институте Географии РАН, руководитель лаборатории Э.П. Зазовская). Вышележащие ПП формировались в течение суббореала и субатлантики (возраст по сумме ГК от 4673 до 1253 календарных лет). Ввиду уплотнения материнских горизонтов древнеаллювиальных и гляциальных осадков, усредненные запасы ОВ гумусовых горизонтов ископаемых и дневных почв по учетным площадкам сопоставимы - 21,3 кг/м² и 22,1 кг/м². Суммарные за 2022-2023 гг. потери ОВ плодородного слоя почвогрунтов достигают 132% от аналогичного показателя ПП из-за большей подверженности верхней части откосов воздействию разнообразных агентов эрозии. В границах учетной площадки «Костино» соотношение потерь органического углерода в горизонтах А1 современной и погребенной почвы составляет 4,0/1,0. На участках днища окской долины, где пойменная фация аллювия начала формироваться еще в начале голоцена (или терминальном плейстоцене), соотношение потерь современных и голоценовых запасов ОВ колеблется от 1,3/1,0 до 1,0/1,2.

Возраст и фациальная архитектура поймы, таким образом, может существенно влиять на радиальное распределение почвенных ресурсов в широком понимании этого термина. Для реликтовой их части, локализованной в глубоких слоях почвогрунтов, ярко выражена меморатная (меморная) функция гуминового компонента, позволяющая реконструировать палеоландшафтные условия, однако гумус ПП может быть и потенциальным сырьем для производства гуминовых препаратов. К числу перспективных задач исследования относится оценка латеральной неоднородности запасов ОВ на ключевых участках исследования с применением дополнительных геохимических и палеогеографических методов и получение более детальной информации о групповом и фракционном составе гумуса дневных и погребенных почв.

УДК 631.452

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Гаева Э.А.

Федеральный Ростовский аграрный научный центр; Рассвет; e-mail: emmaksay@inbox.ru

Задача современного земледелия состоит в сохранении и воспроизводства плодородия пахотных земель. Большинство земель сельскохозяйственного назначения в Ростовской области расположено на эрозионно-опасных участках, требующих дополнительных мер для сохранения плодородия. Для получения дополнительной сельскохозяйственной продукции возникает необходимость использования деградированных земель. Это возможно при проведении мероприятий направленных на оптимизацию природопользования на основе научно-обоснованных форм хозяйственной деятельности. Анализ сложившейся ситуации в земледелии Ростовской области выявил снижение показателей почвенного плодородия,

которое ведет к потере урожайности сельскохозяйственных культур. По данным периодических обследований в последние годы, содержание гумуса снизилось на 0,3-1,0 %. Если в 80-х годах прошлого столетия содержание гумуса колебалось в пределах от 2,8 % в Восточной зоне области до 3,8 % в Северо-Западной и Приазовской, то к 2021 году его количество снизилось до 2,22 % в Восточной, 3,3 % – в Северо-Западной, только в Приазовской зоне отмечено увеличение этого показателя до 4,08 %.

Цель исследования – дать предварительный прогноз запасов гумуса в агрочерноземах различной эрозионной устойчивости в длительном опыте.

Полевые исследования проводили в 1986-2023 гг. в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов различной эрозионной устойчивости, способов обработки почвы и уровней применения удобрений на склоне балки Большой Лог крутизной до 3,5-4° юго-восточной экспозиции расположенной в Аксайском районе Ростовской области. Опыт зарегистрирован в Российской Географической сети длительных опытов с удобрениями (аттестат № 169). В результате проведения эксперимента были изучены три севооборота с различным соотношением эрозионно-устойчивых и неустойчивых культур. Севооборот «А», принятый за контрольный вариант: 20 % чистого пара, 60 % – зерновых колосовых культур и 20 % – пропашных культур. Севооборот «Б»: 20 % зернобобовых, 40 % – зерновых колосовых культур, 20 % – пропашных культур и 20 % – многолетних трав. Севооборот «В»: 40 % – зерновых колосовых культур, 20 % – пропашных культур и 40 % – многолетних трав. При закладке полевого эксперимента были использованы три уровня органоминерального применения удобрений: «0» – естественное плодородие; «1» – 5 т навоза + $N_{46}P_{30}K_{30}$ (106 кг д.в. на 1 га севооборотной площади) и «2» – 8 т навоза + $N_{84}P_{48}K_{48}$ (180 кг. д.в. на 1 га севооборотной площади.). С 2013 года из системы удобрений были исключены органические удобрения (навоз). В качестве основной обработки почвы использовали чизельную и отвальную обработку (контроль). Определение содержания гумуса проводили по Тюрину в слое почвы 0-30 см. Математическую обработку полученных результатов проводили с использованием Microsoft Excel.

При закладке длительного опыта содержание гумуса в пахотном слое колебалось в пределах 3,8-3,83 %. За 37-ми летний период использования агрочерноземов в севообороте «А», на варианте опыта без внесения удобрений содержание гумуса сократилось с 3,83 % до 3,61-3,63 %. Причем за первые две ротации севооборота содержание гумуса в слое почвы уменьшилось незначительно на 0,01-0,03 %. Однако к концу 7-й ротации потери достигли 0,37-0,38 % (или 9,7-9,9 % относительных процентов). В севооборотах с многолетними травами на этом же варианте (севообороты «Б» и «В») содержание гумуса уменьшилось до 3,60 % и 3,74 % или на 0,21-0,22 % и 0,06-0,11 % с меньшими значениями в севообороте с 40 % многолетних трав, по сравнению с исходным содержанием. Во всех трех севооборотах отмечено снижение содержания органического вещества, но в разной степени. По-видимому, почвозащитная роль многолетних трав сказывается не только на сокращении процессов эрозии, но также и имеет большое значение в пополнении почвы свежим органическим веществом, а также и обогащается азотом за счет азотфиксирующей способности бобовых трав.

Внесение органоминеральных удобрений в средних дозах ($N_{46}P_{24}K_{30}$ + 5 т навоза) отмечена тенденция увеличения содержания гумуса за первые две ротации во всех севооборотах до 3,85 % 3,93 % и 3,94 % соответственно. За 37 лет землепользования в севообороте «А» отмечено уменьшение содержания гумуса до 3,61-3,63 % (на 0,20-0,22 %) за счет интенсивного развития процессов деградации, а также незначительного возврата растительных остатков в почву и исключения органических удобрений, а внесение минеральных удобрений не способно компенсировать все потери. В севообороте «Б» с 20 % многолетних трав содержание гумуса снизилось до 3,74-3,76 % (0,06-0,09 %). В севообороте «В», внесение органоминеральных удобрений в средних дозах позволяло

получить положительную тенденцию накопления содержания гумуса в почве до 3,84-3,93 % (на 3,2-3,4 % относительных процента).

Увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза ($N_{84}P_{30}K_{48}+8$ т навоза) не позволяет поддерживать расширенное воспроизводство гумуса во всех севооборотах. В севообороте «А» с 20 % чистого пара при внесении повышенных доз удобрений количество гумуса сохраняется на исходном уровне (3,86 %), однако общая тенденция направлена на снижение запасов органического вещества, сохраняется. Введение в севооборот «Б» 20% многолетних трав при этой же дозе внесения удобрений позволяет сохранить количество гумуса на исходном уровне (3,96 %). Увеличение доли многолетних трав до 40 % приводит к расширенному воспроизводству содержания гумуса в севообороте «В» (0,17-0,18 %), хотя за последние две ротации отмечена тенденция незначительного снижения с 4,12 % до 3,98 %.

Влияние способа обработки почвы на накопление гумуса отмечено не было ($p < 0,05$). Разница в содержании гумуса при использовании почвозащитной (чизельной) обработки почвы по сравнению с контрольным вариантом (отвальной) колебалась в пределах от 0,01 % до 0,08 % и не превышала ошибки опыта. Однако, значительные изменения в содержании гумуса были отмечены в зависимости от конструкции севооборота ($p > 0,05$). Если исходное содержание гумуса было равно 3,8-3,83 %, то в результате длительного использования земель сельскохозяйственного назначения без внесения удобрений в севообороте с 20 % чистого пара количество гумуса уменьшилось на 0,37-0,38 %, в почвозащитном севообороте с 20 % многолетних – на 0,21-0,22 %, а в почвозащитном севообороте с 40 % многолетних трав изменения были незначительные (0,06-0,11 %).

Таким образом, за 37-мь лет использования агрочерноземов выявлено, что конструкция севооборота значительно влияет на содержание гумуса. В севооборотах различной эрозионной устойчивости количество гумуса в слое почвы 0-30 см без внесения удобрений уменьшилось ($p > 0,05$) на 0,06-0,38 % с большими значениями в севообороте с 20 % чистого пара. В результате внесения средних доз органоминеральных удобрений ($N_{46}P_{24}K_{30}+5$ т навоза) содержание гумуса увеличивается только в севообороте с 40 % многолетних трав до 3,93-3,95 %. Повышенные дозы внесения удобрений в полтора раза ($N_{84}P_{30}K_{48}+8$ т навоза) позволяет получить бездефицитное воспроизводство плодородия почвы в почвозащитных севооборотах в севообороте с 20 % многолетних трав до 3,93-3,96 %, в севообороте с 40% многолетних трав до 3,96-3,98 % ($p > 0,05$). Способ обработки почвы существенного влияния на изменение содержания гумуса не оказывал ($p < 0,05$), разница составляла 0,01-0,08 %.

УДК 504.53.052

ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ ПОЧВ: ГЛОБАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Голосов В.Н.

Географический факультет Московского государственного Университета имени М.В.

Ломоносова, Москва

Институт географии РАН, Москва, gollossov@gmail.com

Общепризнано, что водная эрозия почв является важнейшим процессом, способствующим снижению плодородия почв. Темпы смыва почвы зависят от ряда факторов, часть из которых являются относительно консервативными на коротких интервалах времени (рельеф, противозерозионная устойчивость почвы), тогда как другие (проективное покрытие почв растительностью) остаются сравнительно консервативными только на землях не затронутых деятельностью человека, но сильно изменяются как в пространстве, так и во времени в зависимости от использования земель (пашня, пастбище и т.д.), набора высеваемых сельскохозяйственных культур, способов обработки почвы и наличия или отсутствия почвозащитных мероприятий. Наконец, наиболее изменчивыми являются климатические факторы, а именно эрозионный индекс ливневых осадков (для тёплого времени года) и

запасы воды в снеге, глубина промерзания почв и наличие и отсутствие ледяной корки (в период снеготаяния). Указанный набор факторов в том или ином сочетании используется в наиболее широко применяемых для оценок темпов смывав различных масштабах эмпирических моделях эрозии. Имеющиеся на данный момент оценки эрозии почв на глобальном уровне основаны на различных модификациях Универсального Уравнения эрозии почв (USLE), а в качестве входных параметров используются в основном глобальные базы данных. Итоговые оценки даже на уровне континентов существенно отличаются у разных исследователей. В наибольшей степени эти различия проявляются для двух основных частей Евразии: для Европы среднегодовые потери почвы от смыва почв оцениваются в интервале 0,72 – 13,4 тонн/га в год, а для Азии – 3,47- 15,8 тонн/га в год. Немного меньше вариабельность оценок эрозии почв для других континентов: Африка – 3,51- 8,2 тонн/га в год; Австралия – 0,9-4,43 тонн/га в год; Северная Америка – 1,3-9,3 тонн/га в год; Южная Америка – 3,53-16,7 тонн/га в год. В целом для суши планеты Земля темпы смыва оцениваются в 2,5-11,5 тонн/га в год. Важно отметить, что данные оценки не включают потери почвы при талом стоке. Следует подчеркнуть, что фактические темпы смыва почв всё же ближе к нижней границе расчётных данных. На это указывает проведённый нами анализ опубликованных измеренных на малых пахотных водосборах значений потерь почвы от смыва, включая собственные данные. Причём практически все участки, на которых инструментально зафиксированные темпы эрозии превышают 10 тонн/га в год, располагаются в горах или предгорьях. При этом только часть из данных участков используется в сельском хозяйстве, тогда как остальные – это практически ненарушенные или слабонарушенные деятельностью человека высокогорья. Данные весьма ощутимые различия обусловлены в первую очередь несовершенством модели USLE, даже с учётом модификаций и усовершенствований, а именно, по сути, очень слабой разработанностью блока фактора рельефа, который определяет транспортирующую способность склоновых потоков. Кроме того, в модели в принципе не учитывается вариабельность водопроницаемости почв, которая определяет коэффициент поверхностного стока. Эти недостатки преодолены в физически обоснованных моделях эрозии почв. Но их широкому использованию препятствует отсутствие баз данных входящих в них параметров. Тем не менее, несмотря на несовершенство моделей эрозии, используемых в настоящее время для глобальных оценок, на их основе можно оценивать тренды изменений потерь почвы за несколько десятилетий, а также давать прогнозные оценки. Для таких оценок используются климатические характеристики, изменения в землепользовании, наборе противоэрозионных мероприятий, применяемых в пределах различных стран, а также севообороты, которые трансформируются в основном в зависимости от уровня экономического развития конкретной страны, а также мировых цен на определённые виды сельскохозяйственной продукции. Установлено, что темпы смыва существенно снизились в Северной и Южной Америке данная тенденция отмечается, прежде всего, на равнинах, что связано с широким использованием нулевой обработки почв при посеве наиболее широко распространённых культур. В Западной и Центральной Европе на равнинных территориях отмечается тренд некоторого снижения темпов смыва, обусловленный оптимизацией размещения сельскохозяйственных культур в зависимости от их почвозащитных свойств. При этом в средиземноморском поясе Европы из-за роста повторяемости экстремальных ливней происходит рост потерь почвы, отчасти в объёмном выражении компенсируемый забрасыванием части сельхозземель в горах. Значимое сокращение темпов смыва достигнуто в Китае за счёт использования комплекса противоэрозионных мероприятий. В тоже время, в ряде стран Азии и во многих странах Африки идёт рост потерь почв от водной эрозии в том числе обусловленный расширением площадей обрабатываемых земель. Для сельскохозяйственных земель России также имеются количественные оценки потерь почвы при талом и ливневом смыве. Для всей территории страны они рассчитаны на период 1960-1980 годы, тогда как для Европейской части России опубликованы и оценки для

первого десятилетия 21 века. Достоверность расчётов, полученных для пахотных и пастбищных земель России по административным районам, была проверена нами на основе сопоставления с оценками с фактическими сокращениями почвенных горизонтов каштановых почв и чернозёмов разной степени смытости для территорий с различной продолжительностью земледельческого освоения. Было установлено, что расчётные данные несколько завышают фактические потери, но верно отражают различия в сокращении почвенных горизонтов для указанных выше почв. Коэффициент детерминации между фактическим сокращением почвенных горизонтов и расчётными значениями равен 0,7. Сходимость расчётных величин темпов смыва с фактическими потерями на малых детально исследованных полевых водосборах, выявленных на основе использования набора полевых методов, оказалась даже выше. Это, видимо, объясняется большей точностью цифровых моделей рельефа, использованных для расчётов. Для южной половины Европейской территории России, где располагается большая часть пахотных земель страны, установлен тренд снижения темпов смыва за период 1986- 2015 годы по сравнению с 1963-1986 годами на основе сопоставления темпов аккумуляции смытых с пашни наносов в днищах сухих долин малых водосборов с распаханной склонами междуречий. Исключением является только Предкавказье, где тренд сокращения не выявлен. Основные причины снижения темпов смыва две. Во-первых, с начала 1990-х годов началось резкое сокращение вплоть до полного прекращения талого стока и смыва в связи с потеплением климата. Во-вторых, в 1970 годы и в ряде регионов вплоть до конца 1980-х годов при обработке почвы и уборке урожая использовалась тяжёлая сельскохозяйственная техника. Это приводило к переуплотнению почвы, разрушению почвенных агрегатов и как следствие росту поверхностного стока. Начиная с середины 2010-х годов в целом ряде регионов России начался процесс восстановления заброшенных в период между 1991 и 2010 годами пахотных земель и одновременно стал существенно изменяться набор высеваемых сельскохозяйственных культур в пользу роста доли пашни, занятой пропашными и техническими культурами, которые являются наиболее эрозионно-опасными из-за более низкого проективного покрытия поверхности почвы. В отдельных административных регионах чернозёмной зоны на их долю приходится уже более 30% от общей площади пашни. В последние десятилетия выявлен чётко проявляющийся тренд усиления повторяемости сильных стокоформирующих ливней, особенно значимый в юго-западной части лесостепной и степной зон Европейской части России. В совокупности эти два фактора способствуют усилению ливневого смыва с пахотных земель в данных регионах.

УДК: 631.6.02

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ

Дорогая Е.С.

Уфимский Институт Биологии УФИЦ РАН, Уфа, ekaterina.s.dorogaya@gmail.com

Потеря плодородных почв в результате водной эрозии представляет глобальную угрозу сельскому хозяйству, усугубляющуюся со временем. Основное влияние на степень эрозии оказывают интенсивность и продолжительность осадков, а также угол уклона орошаемой жидкими осадками поверхности. Для снижения потерь плодородных почв в результате смыва разработаны различные методы химического, физического и механического воздействия. Одним из распространенных методов химической обработки почв является использование полимерных структурообразователей. В работе проанализирована эффективность применения катионного полимера на основе полиакриламида (препарат ВПК) на агрочерноземе при разных углах уклона поверхности в моделируемом опыте по дождеванию.

В лабораторных условиях на дождевальной установке проанализированы пробы агрочернозема. Скорость дождевания соответствовала уровню сильного ливня (6–7 мм/мин). Длительность полива составляла 30 мин после начала стока. Ящики с пробами устанавливались на углы уклона в 3, 7 и 15 градусов. Фиксировалось время начала стока и количество смытого материала.

Для каждого угла уклона готовилось по три пробы сухой, очищенной от растительных остатков почвы без обработки (контроль) и почвы с обработанной полимерным структурообразователем поверхностью. После обработки структурообразователем пробы высушивались до воздушно-сухого состояния.

В качестве катионного структурообразователя использовали полимер на основе полиакриламида с торговым названием ВПК. Данное соединение не токсичное, не горючее, хорошо растворяется в воде и не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. В основном ВПК используется в качестве бурового раствора и коагулянта при водоподготовке. Рекомендованная производителем концентрация полимера в воде составляет 28,6 мл/л. Для разведения использовалась водопроводная вода.

Для обработки проб при уклоне 3° и 7° использовался полимерный структурообразователь в концентрации, рекомендуемой производителем (C₀). Для уклона в 15°, как наиболее подверженного эрозии, использовали несколько растворов с разной концентрацией: ½ от рекомендуемой, рекомендуемой C₀, удвоенной и дважды удвоенной от рекомендуемой концентрации.

Обработка агрочернозема катионным структурообразователем ВПК существенно снизила количество смытого вещества для всех углов уклона. Использование раствора C₀ незначительно влияло на разницу в количестве смытого вещества при увеличении угла уклона: если для контроля при переходе от угла в 3° (38,85 г смытого вещества) до 7° (297,7 г) и затем 15° (627,98 г) количество смытого вещества увеличивается в 8 и 16 раз, соответственно, то для обработанной почвы значения последовательно росли примерно вдвое с ростом крутизны (2,0 г на 3°, 3,82 г на 7° и 4,98 г при 15°). При этом даже на большом уклоне в 15° общее количество смытого вещества в 126 раз ниже, чем у контроля (4,98 г на обработанной почве против 627,98 г на контроле). Снижение концентрации полимера в растворе в два раза приводит к примерно аналогичному увеличению количества смытого вещества (до 9,8 г), а увеличение концентрации – к дальнейшему снижению смыва (2,59 г при увеличении C₀ вдвое и 0,85 г при повторном увеличении вдвое).

Время начала стока на обработанных пробах для всех углов уклона и концентраций оставалось в пределах 10 мин, что соответствовало времени начала стока контроля при уклоне 3° и выше по сравнению с 7° (на 1 мин) и 15° (на 4 мин).

Применение катионного полимерного структурообразователя ВПК значительно снизило интенсивность водной эрозии агрочернозема даже на больших углах уклона поверхности (до 15°), способствуя сохранению плодородного слоя почв. Учитывая безопасность применения ВПК для окружающей среды, следует рассматривать его как перспективный препарат для использования в сельском хозяйстве.

УДК 631.459

ЭРОДИРУЕМОСТЬ ПОЧВ В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЯХ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Жидкин А.П.¹, Фомичева Д.В.¹, Комиссаров М.А.^{1,2}

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, zhidkin@esoil.ru;

²Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН

Одним из определяющих факторов развития эрозии почв – самого сильного процесса деградации почвенного покрова в глобальном масштабе, является эродируемость или смываемость почв, то есть способность почвы противостоять смывающему действию

водного потока и капель дождя. Эродируемость зависит от различных свойств почв, таких как содержание органического вещества, гранулометрический, агрегатный и минералогический состав и др. Эти показатели определяют в первую очередь гидрологические характеристики почв. Многочисленные исследования, проведенные в мире в XX веке, установили эмпирические зависимости между свойствами почв и их эродируемостью. В настоящее время количественные значения эродируемости почв (К-фактор) используются как входной параметр для большинства эрозионных моделей (USLE, RUSLE, WEPP, EUROZEM, SWAT, G2, WaTEM/SEDEM и др.). Согласно классической формуле RUSLE на основе данных о содержании органического вещества и гранулометрическом составе пахотных горизонтов, была рассчитана эродируемость почв для 1770 точек обследования, расположенных на 8 участках Среднерусской возвышенности (рис. А). Кроме аналитических исследований, в каждой точке было проведено обследование морфологических свойств почв, диагностированы тип (подтип) и степень их смытости.

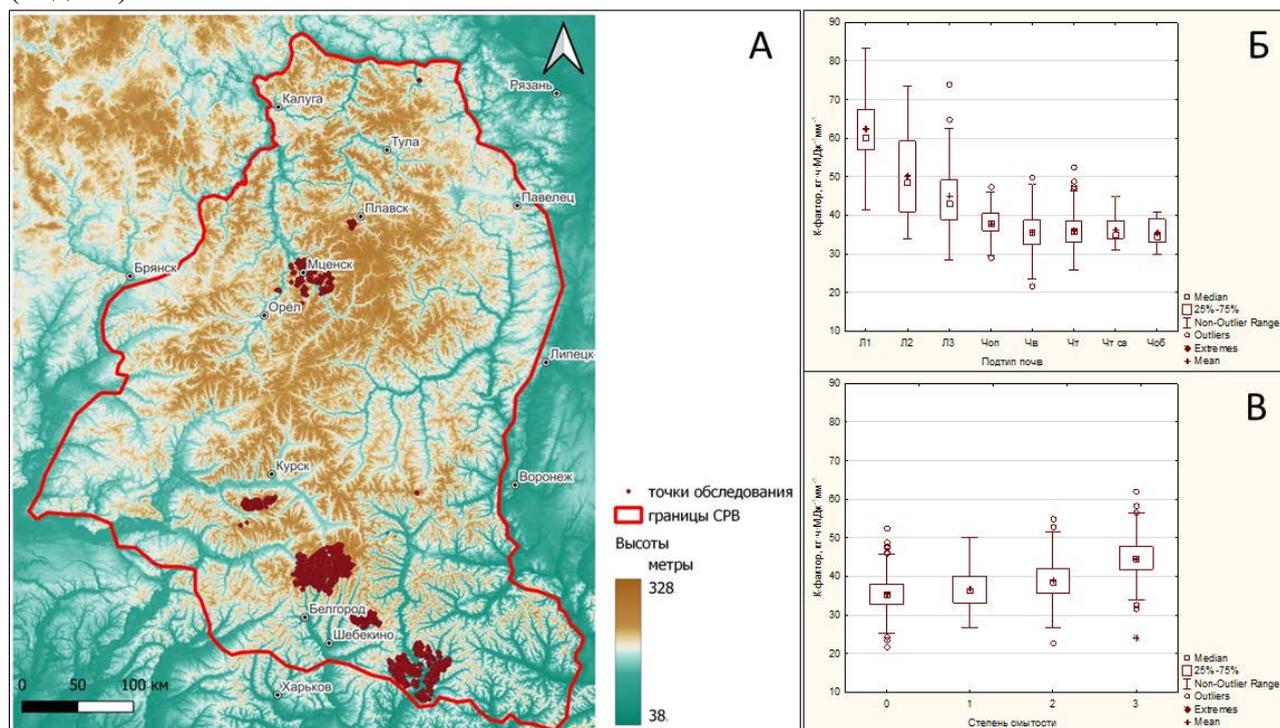


Рис. А – расположение 1770 точек обследования почв на Среднерусской возвышенности (СРВ); Б – параметры варьирования К-фактора в различных подтипах не- и слабосмытых почв (всего 1173 точки); В – параметры варьирования К-фактора в черноземах типичных и выщелоченных: 0 – не-, 1 – слабо-, 2 – средне- и 3 – сильносмытых (всего 1262 точки).

Результаты исследований выявили, что эродируемость почв определяется преимущественно их типовой (подтиповой) принадлежностью и степенью смытости. Выявлен следующий ряд по уменьшению значения К-фактора, и соответственно, возрастанию устойчивости почв к размыву: светло-серые, серые, темно-серые лесные почвы, черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные и обыкновенные (рис. Б). В данном ряду эродируемость почв изменяется соответственно: 63, 50, 45, 38, 36, 36, 36, 36 кг*ч/(МДж*мм). Таким образом, эродируемость почв на Среднерусской возвышенности изменяется в соответствии почвенной зональности, уменьшаясь с севера на юг в среднем в 1,75 раза.

Важно отметить, что значения К-фактора прямо пропорциональны темпам эрозии почв при прочих равных условиях. Иначе говоря, темпы смыва серых лесных почв в среднем в 1,5 раза выше, чем черноземов при одинаковых иных факторах эрозии. Серые лесные почвы имеют исходно меньшую мощность гумусированной толщи, что в сочетании с их высокой

эродируемостью, способствует значительно большим рискам деградации серых лесных почв от эрозии по сравнению с черноземами.

Серые лесные почвы в северной лесостепи значительно отличаются от свойств серых лесных почв в южной лесостепи. Средние значения К-фактора серых лесных почв в северной части Среднерусской возвышенности варьируют в диапазоне 52–63 кг*ч/(МДж*мм) в зависимости от подтипа, в то время как в южной части составляют лишь 40–41 кг*ч/(МДж*мм).

Неожиданным оказалось, что эродируемость черноземов типичных и выщелоченных практически одинаковая в различных частях Среднерусской возвышенности, несмотря на некоторое варьирование гранулометрического состава и содержания органического углерода.

При увеличении степени смытости почв, как правило, увеличиваются и значения К-фактора. Особенно четко проявляется данная связь для черноземов (рис. В). В ряду не-, слабо-, среднесмытых черноземов значения К-фактора возрастают постепенно, в относительно небольшом диапазоне и в пределах варьирования данного показателя. Смыв менее половины от мощного гумусового горизонта черноземов слабо сказывается на изменении свойств пахотного горизонта. Однако, эродируемость сильносмытых черноземов значительно (в 1,5 раза) выше, чем не- и слабосмытых черноземов, поскольку в сильносмытых почвах происходит запахивание срединных горизонтов, слабо обогащенных органическим веществом, что приводит к ухудшению свойств почв и соответственно снижению их устойчивости к размыву.

Проведенные оценки эродируемости почв в 1770 точках обследования были сопоставлены с глобальными оценками (<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-erodibility>).

Полученные в настоящей работе значения К-фактора оказались в 1,2–1,9 раза выше глобальных оценок. Различия в черноземах составили 1,2–1,3 раза в зависимости от подтипа, а в темно-серых, серых и светло-серых лесных почвах – 1,4, 1,5 и 1,9 раз соответственно.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 22-17-00071, <https://rscf.ru/project/22-17-00071/>.

УДК 631.459

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭРОЗИОННООПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ В БОГАРНОЙ ЗОНЕ ПРЕДГОРНОГО ПОЯСА.

О.Э.Хакбердиев¹, Т.Ш.Шамсиддинов²

¹“ТИИМСХ” Национальный исследовательский университет

²Ташкентский аграрный университет

С целью оценки, картирования и определения зон эрозионной опасности богарной зоне на территории фермерского хозяйства «Б.Бегимкулова» в Куштинорском массиве выделены 5 основных направлений, которые складываются из следующих факторов (крутизна, длина, экспозиция склонов, почвенный и растительный покров) и др. Изучено общее влияние эрозии почвы. Затем количество смытой дождем почвы на этих основных участках определяли не менее 5 раз, после чего определяли годовой объем смытой почвы путем ее суммирования (т/га в год).

Определение смыва почвы с поверхности показало, что степень риска эрозии коррелирует с крутизной, длиной и экспозицией склона. Результаты исследований показали, что на склонах, занятых пшеницей, происходит интенсивный смыв почвы с поверхности земли и его объем составляет 25,4 т/га в год. Наблюдения, проведенные на склонах, занятых люцерной, в течение 3-го года показали, что величина эрозии почвы была незначительной и составила 7,0 т/га в год, что соответствует низкому риску ($3,5^0$) независимо от крутизны склона.

Таблица 1.

Определение смыва почвы с поверхности, т/га.

№ Ключевых точек	Крутизна, в градусах.	Длина крутизны, м	Экспозиция склона	Средняя величина смыва почв т/га			
				I образец	II образец	III образец	Средне годовая
1	5,5	65	Жанубий	27,4	23,8	22,2	24,4
2	1,0	90	Шаркий	16,3	15,3	13,2	14,9
3 ⁺	3,5	140	Гарбий	10,2	10,7	6,1	8,6
4	1,0	120	Шимолий	7,3	7,2	6,1	6,8
5	0,5	130	Водараздель	2,0	0,9	0,6	3,9

Карта эрозионноопасных богарных земель Фермерского хозяйства «Б.Бегимкулова» Джизакской области, Бахмальского района, на основе определения шкалы категорий эрозионной опасности богарных земель, разработанной О.Э.Хакбердиевым и Х.Х.Абдурасуловым. При создании карты дополнительно использовались следующие материалы:

1. Почвенная карта хозяйства (М 1:10000), составленная Институтом Почвоведение и агрохимии;
2. Использовано топографические карты (М 1:10000).
3. Дополнительная информация, систематизированная за годы исследований.

Ниже приводится его описание и карта распределения по категориям эрозионной опасности. На основе проведенных исследований мы определили общие закономерности распределения эродированных земель в богарной зоне изучаемой территории и дали рекомендации по повышению их продуктивности.

I- категория земель - Опасности эрозии нет, он занимает в основном равнинную часть изученных территорий. В этой части территории распространены преимущественно несмытые типы богарных типичных серозёмных почв. Крутизна склона не превышает 1^0 , возможный осадочный сток почвы ниже допустимого уровня (то есть до 5 т/га в год). Одними из основных мер по повышению продуктивности этих земель являются севооборот и своевременная обработка почв. Для получения высокого урожая (20-22 т/га) следует дополнительно вносить органические и минеральные удобрения.

I^a- категория земель - От категории I отличается распределением склонов. На этой категории земель накапливается сток и продолжается процесс формирования мелиоративных почв. Почвы сильные, богатые гумусом и обычно богаты питательными веществами. Имеют некоторые отрицательные свойства (переувлажнение, уплотнение).

II - категория земель - Опасность слабая, хребты занимают водоемы и верхние части пологих склонов. Крутизна склонов находится в пределах $1 - 2^0$, смыв почвы с поверхности земли дождями от 5 до 15 т/га в год. Почвы сухие сероземы, умеренно эродированные и частично техногенные. Здесь следует применить меры, рекомендованные для первой категории. Кроме того, следует применять поликомплексы и методы ведения сельского хозяйства, которые предотвращают дождевую эрозию и повышают устойчивость к эрозии и продуктивность богарных земель.

II^a - категория земель - Он занимает пологий участок склона, в отличие от земель II класса, которые не представляют большой опасности. Почвы богарные снрозёмы, слабосмытые. Следует применять меры, рекомендованные для первой и второй категорий, кроме этих мероприятий, проводить вспашку и посадку по склону или наименьшему склону. При этом необходимо комплексно повышать их эрозионную стойкость на склонах и поддерживать ее на высоком уровне. Хороший эффект в этом отношении дает увлажнение поверхности почвы полимером ТНМ -1, хлореллой, посадка многолетних культур.

III категория земель - умеренно опасен, распространен преимущественно на пологих склонах исследуемой территории. Крутизна склона $2-3^0$; возможность эрозии почвы с поверхности почвы составляет 25-40 т/га в год. Почвы – богарные типичные сероземы,

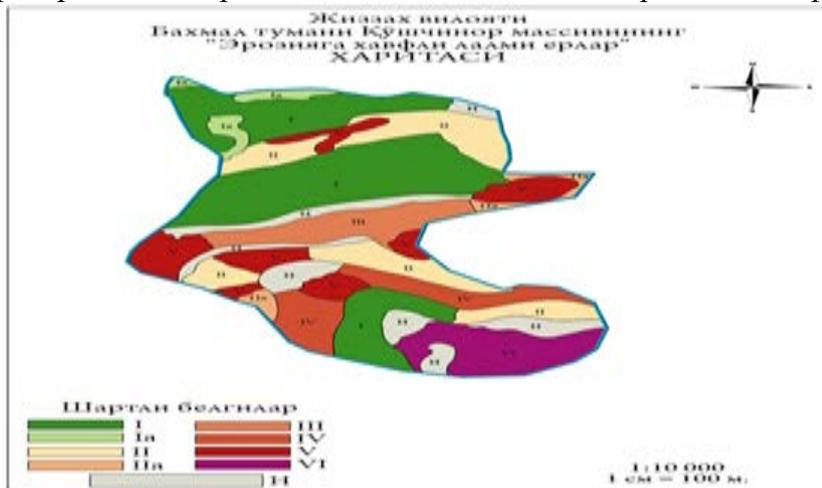
умеренно и сильно промытые. Следует использовать схемы севооборота. По мере повышения категории риска эрозии почвы необходимо соответственно увеличивать долю объема травы в схемах севооборотов. Необходимо увеличить количество перегноя за счет внесения навоза и различных органических веществ. Нормы внесения органических веществ и дозы минеральных удобрений следует дифференцировать с увеличением категории риска эрозии почвы.

IV категория земель - опасность сильна, в основном распространяется на склонах. Крутизна склона 3-5⁰, возможная эрозия поверхности почвы 40-60 т/га в год. Почвы сбогарные типичные сероземы, сильно выщелоченные. Для уборки урожая также необходимо применять все меры, указанные в описании III категории.

V - категория земель - опасность очень сильна, обычна на крутых склонах. Крутизна склона 5-8⁰, смыв почвы с поверхности земли от 60 до 80 т/га в год. Почвы сероземы богарные, сильно промытые. Земли V категории следует использовать для посадки кормовых культур, посадки садов и виноградников.

VI категория – катастрофический опасный – занимает крутые склоны исследуемой территории. Крутизна склона более 10⁰, смыв почвы с поверхности земли более 100 т/га в год. Почвы сухие сероземы, сильно выщелоченные. Мы предлагаем не использовать эти земли в сельском хозяйстве, так как их орошение приведет к интенсивному развитию дождевой и овражной эрозии и исключит земли из сельскохозяйственного использования. Чтобы использовать эти земли, необходимо сделать террасирование, после чего их можно будет использовать для посадки фруктовых деревьев и виноградников.

Таким образом, можно прогнозировать проявление дождевых эрозионных процессов, разрабатывать меры борьбы с ними, более правильно решать вопросы рационального использования, размещать посевы и планировать посевы, определяя закономерности распределения эрозионоопасных земель в богарной зоне территории. сероземная зона.



Шкала определения категории эрозионной опасности богарных земель

Категории земель по эрозионной опасности	Почвы	Рельеф		Возможный смыв, т/га в год.
		Градации по уклонам поверхности	Крутизна склона	
I. Опасности эрозии нет	Богарные типичные серозёмы, несмытые	равнина	<1 ⁰	~ 5
I ^a . - // -	Богарные типичные серозёмы, намытые	шлейфи склона	<1 ⁰	Аккумуляция стока

II. Слабая опасность	Богарные типичные серозёмы, слабосмытые	водоразделы	1-2°	5-15
II ^a . - // -	- // -	пологие склоны	1-2°	15-25
III. Средняя опасность	Богарные тёмные серозёмы, среднесмытые	слабо покатые склоны	2-3°	25-40
IV. Сильная опасность	Богарные тёмные серозёмы, сильносмытые	покатые склоны	3-5°	40-60
V. Очень сильная опасность	- // -	сильнопокатые	5-8°	60-80
VI. Катастрофическая опасность	- // -	крутые склоны	>8°	>100
Неоцененные земли - (усады, кладбища, бугры, овраги, дороги и др).				

УДК 631.613.1

ТЕРРАСИРОВАНИЕ СКЛОНОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА-ГЕРОЯ ВОЛГОГРАД.

Шайфуллин М.Р.

ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, e-mail: maks.shayfullin@mail.ru

Террасирование как способ освоения крутых склонов известно с давних пор и в отдельных регионах мира опыт его применения насчитывает несколько тысяч лет. Это территории Юго-Восточной и Южной Азии, Латинской Америки, Средиземноморья и др. На территории современной России древние земледельческие террасы существуют на Северном Кавказе и горной части Крыма. Террасное земледелие применяется во многих горных районах и по сей день.

Террасирование – эффективное средство борьбы с эрозией почв на крутых склонах, помимо противозрозионных функций, террасирование позволяет улучшить хозяйственную ценность земель, создавая удобные для обработки и орошения ровные участки земли, а также обеспечивая почву дополнительной влагой путём задержки снега и дождевых вод. Как противозрозионный приём террасирование применяется самостоятельно и в сочетании с лесомелиорацией.

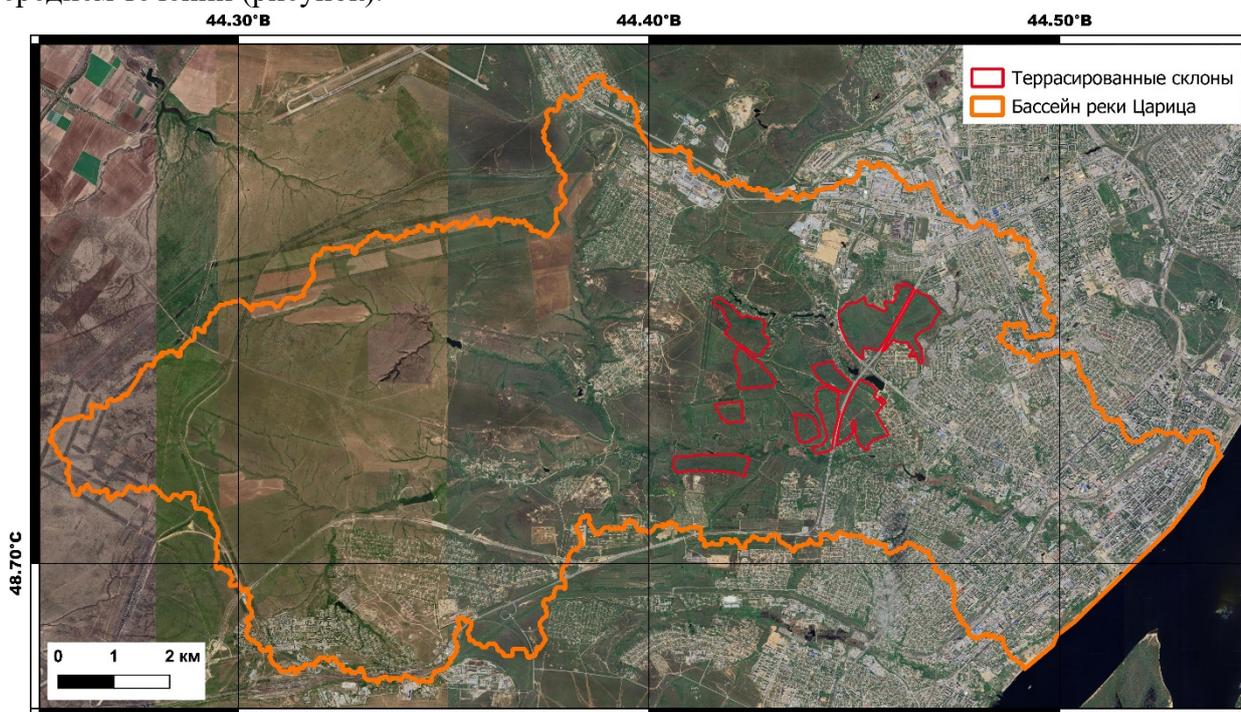
Создание террасированных склонов на территории Волгограда (в прошлом Сталинграда) началось в 1935 году в рамках работ по созданию Зелёного кольца. Окрестности города до 1935 года представляли собой глубокие овраги, развеваемые пески и полынные степи, всё это усугублялось жарким климатом и активными ветрами. Для борьбы с негативными природными явлениями и повышения качества городской среды было принято решение о создании зелёной зоны. Работы были возложены на Сталинградскую лесопосадочную машинно-тракторную станцию, созданную постановлением Совета Народных Комиссаров №912 от 16 мая 1935 года и позже преобразованную в Волгоградскую производственно-экспериментальную лесомелиоративную станцию (ВПЭЛС). Было поставлено множество задач, включая озеленение территории и борьбу с эрозией почв, для чего были проведены большие работы по террасированию эродированных склонов под закладку лесных, лесопарковых насаждений и плодовых садов в условиях орошения. Склоны покрывались

сетью ступенчатых террас с земляными валами. Ширина рабочего полотна террасы составляет 3-10 м, высота земляного вала – 0,5-0,6 м. Террасы орошались методом сплошного затопления с помощью напорных водоводов с водоразборными стояками, установленными через 50 м. В результате на террасированных склонах было создано 1042 га плодовых садов и виноградников, 90 га садозащитных лесных полос, 410 га лесопарковых и лесных насаждений.

Технологический процесс создания террас состоял из следующих работ. После предварительного планирования сильные выраженности рельефа, такие как струйчатые размывы, всхолмления, резко выраженные потяжины с помощью бульдозера и скрепера срезали и заравнивали. Затем плантажным плугом с предплужником вспахивали всю площадь на глубину 60-70 см, это, во-первых, облегчает работы грейдера по планировке склона и устройству террас, во-вторых, позволяет заделать плодородный почвенный горизонт на глубину, чтобы он не был перемещён в валы. Далее проведена трассировка плантажным плугом и формирование площадок террас с помощью грейдера с последующим формированием земляных валов. Во избежание разрушения валов проведена их одерновка посевом житняка. По завершении строительства террас дно террасы пахали на глубину 35-40 см плугами без отвалов или рыхлителями Мальцева.

В условиях недостатка атмосферных осадков и неравномерным их выпадением в течении года создание устойчивых и продуктивных древесных насаждений возможно только при искусственном орошении. Опыт Зелёного кольца показал, что наиболее эффективное использование склонов гидрографической сети под многолетние насаждения с орошением возможно только с предварительным террасированием их. Опыт Волгограда показал эффективность данного подхода. Помимо прекращения эрозионных процессов и освоения ранее непригодных для сельского хозяйства земель значительно сокращаются расходы на полив и уход при возрастании продуктивности древостоя.

С изменением социально-экономических условий в 90-х годах созданные древесные насаждения при отсутствии орошения и должного ухода, а также под воздействием засух, пожаров и иных причин стали погибать. В первую очередь пострадали плодовые насаждения – наиболее требовательные к уходу, лесные насаждения частично сохранились. В качестве примера рассмотрим террасы, созданные на склонах реки Царица (бывшая Пионерка), в её среднем течении (рисунок).



Склоны долины ассиметричны (левый круче правого) и густо прорезаны балками, оврагами и промоинами. Склоны долины сложены третичными отложениями (палеоген и неоген), которые прикрыты четвертичными (преобладают современные) образованиями. Река Царица питается за счёт ряда водоносных горизонтов Ергенинской свиты и Царицынского яруса, а также поверхностным стоком с большой водосборной площади.

Первые террасы и лесонасаждения на них были созданы в период с 1935 по 1941 гг. на площади в 193 га. В ходе кровопролитных боёв за город во время Сталинградской битвы (1942-1943 гг.) лесные насаждения были уничтожены.

С 1950 года работы по террасированию склонов были продолжены. В результате были созданы террасы на площади 481 га. К настоящему времени террасированная территория Царицы сократилась на 82 га, из них 58% площади отдана под жилую застройку, 33% - кладбища, 9% - инфраструктурные объекты. Активные процессы урбанизации грозят дальнейшему уничтожению террас. Для создания устойчивого экологического каркаса территории во многом уникальный опыт по террасированию склонов и их облесению необходимо изучать, сохранять и продолжать.

УДК 631.459

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПОВ СМЫВА ПОЧВ НА СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ, ВЫЯВЛЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ СТРАТОЗЁМОВ В ДНИЩАХ МАЛЫХ ВОДОСБОРАХ

Шамшурина Е.Н.^{1,2}, Жидкин А.П.², Голосов В.Н.^{1,2}

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: shamshyr@mail.ru

Эрозия почв является ключевым фактором деградации почвенного покрова регионов с высокой долей обрабатываемых земель. На территории Среднерусской возвышенности расположены Тульская, Орловская, Курская, Белгородская области, где в настоящее время доля только пахотных земель составляет соответственно 37, 54, 57, 52 % от общей площади области. В связи с различной длительностью распашки территории Среднерусской возвышенности, изменениями климата, способов обработки почвы, и севооборотов, а также контуровкой полей темпы смыва на пашне также менялись. Была поставлена задача ретроспективно изучить как повлияли перечисленные выше факторы на изменения интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов в различные интервалы времени с момента начала массовой распашки земель в разных частях Среднерусской возвышенности. Для решения данной задачи было выбрано 5 малых водосборов, расположенных в зоне серых лесных почв и черноземов, со значительной долей пахотных земель от общей площади каждого водосбора, в пределах которых были исследованы аккумулятивные отложения, накопившиеся в днищах малых водосборов (Табл.)

Таблица. Основные характеристики малых исследуемых водосборов

Объект	Бассейн реки	Площадь					Начало массовой распашки
		Общая Га	Днища		Пашни		
			Га	%	Га	%	
Петровка	Локна	95,9	2,1	2,2	83,2	86,8	1760-е
Спокоевка	Воробжа	105,5	2	1,9	92,9	88,1	1770-е
Хвоцин Лог	Сейм	140,1	2,2	1,6	118,4	84,5	1860-е
Просторное	Олым	38,9	0,5	1,3	35,6	91,5	1770-е
Ломовец	Ока	42	1,01	2,4	40,7	97	1820-е

Источником наносов для формирования стратозёмов явились продукты смыва с распаханых склонов. Общий объём отложений, накопившихся в днищах, был установлен на основе измерения площади днища и суммарной мощности наносов, отложившихся по длине днищ, выявленной на основе бурения по поперечным профилям и использования почвенно-

морфологического метода. Для выделения мощностей наносов, отложившихся за различные временные интервалы, использовались радиоцезиевый (позволяющий определить глубину наносов с момента появления радионуклида в атмосфере в результате начала испытания ядерного оружия, а также аварийного выброса Чернобыльской АЭС в 1986 году) и метод магнитного трассера (позволяющий оценить глубину наносов с момента ввода в активную эксплуатацию железной дороги). Для этого в днищах малых обрабатываемых водосборов на предварительно выделенных на основе результатов геоморфологического картирования участках закладывались разрезы. Для каждого разреза проводилось подробное морфологическое описание, а далее послойно отбирались образцы с площади 15x15 см через каждые 3 см (для определения содержания ^{137}Cs в почве) до глубины 70-80 см и через каждые 15 см (для определения содержания сферических магнитных частиц) до глубины 120-150 см. Суммарный объём отложений, накопившийся за каждый период, рассчитывался путём перемножения площади днища (полученной на основе GPS съёмки по положению тылового шва днища) на мощность слоя, отложившегося за данный период в каждом из разрезов, устанавливаемый на основе изучения вертикальных распределений ^{137}Cs и сферических магнитных частиц, полученных по результатам проведения лабораторных анализов.

Объёмы аккумуляции, накопившиеся в днищах малых водосборов, примыкающих к пашне, за различные интервалы времени позволили оценить среднегодовые темпы смыва с пашни исследованных водосборов, путём их деления на площадь водосбора и число лет данного интервала и перемножения на плотность почвы в зоне аккумуляции. Полученные значения смыва характеризуют не учитывают ту часть смытой почвы, которая переотложилась на бортах сухих долин, а также была вынесена за пределы водосбора. Тем не менее, они позволили определить тренды изменений темпов смыва в различных частях лесостепной зоны Среднерусской возвышенности. Максимальные потери почвы достигали в период с 1954 до 1986 гг., что связано с двумя причинами. Во-первых, в этот период отмечался и ливневой, и талый смыв. Причём талый смыв наблюдался практически ежегодно в связи с преобладанием холодных зим и глубоким промерзанием почвы. Во-вторых, с середины 1960-х годов для обработки почвы и уборки урожая стала использоваться тяжелая техника, что приводило к переуплотнению почвы и разрушению почвенных агрегатов. В результате возрастал коэффициент стока воды, что дополнительно провоцировало рост как талого, так и ливневого смыва. В период после 1990 г. в связи с потеплением климата произошло резкое сокращение талого стока и смыва. Одновременно с середины второго десятилетия 21 века в исследованном регионе наметился тренд роста доли посевов пропашных и технических культур, которые являются наиболее эрозионно-опасными.

Для водосборов Петровка и Спокоевка, которые представляют собой небольшие притоки основных более крупных сухих долин и располагаются в среднем течении данных долин, смыв за весь период распашки выше, чем современный (период после 1986 г.). Напротив, для водосборов Просторное и Хвошин Лог, которые представляют собой истоки более крупных долин, наблюдается обратная картина. Это связано с тем, что в период повышенного талого стока в днищах этих долин, формировались вторичные овражные врезы, из-за чего часть ранее отложившихся наносов было вынесено ниже по течению. Для крупной ложбины Ломовец, которая находится в зоне серых лесных почв, противоэрозионная устойчивость которых значительно ниже, чем у черноземов, темпы смыва существенно превышают значения, полученные на объектах, занятых черноземами.

(X) VII КОМИССИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

О БЕРТЬЕРИНЕ ЖЕЛЕЗИСТЫХ СЛАНЦЕВ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ И ЕГО СУДЬБЕ В ПАЛЕОПЕДОГЕНЕЗЕ

Алексеева Т.В., Алексеев А.О.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail: alekseeva@issp.serpukhov.su

Бертьерин – минерал каолинит-серпентиновой группы. Долгое время существовало мнение, что этот минерал является железистым хлоритом – шамозитом, а название «бертьерин» использовалось в качестве синонима шамозита. Позднее было установлено, что минерал обладает не хлоритовой (тип 2:1), а серпентиноподобной структурой, по сути своей аналогичной структуре каолинита (тип 1:1). В октаэдрическом слое структуры бертьерина преобладающими катионами являются Fe^{2+} и Fe^{3+} - $(Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_3(Si, Al)_2O_5(OH)_4$. Как следствие, его структура в отличие от каолинита является триоктаэдрической ($d_{060}=1.566\text{\AA}$). Признано, что диагностирование этого минерала вызывает затруднения, поскольку химический состав идентичен составу железистых хлоритов, а рентгендифракционная картина при беглом рассмотрении и поведение решетки после прокаливании при 550°C - близки каолиниту. Исследования показали, что бертьерин широко распространен в природе в железистых осадочных породах, корах выветривания и в гидротермально-измененных породах разной природы.

В докладе речь идет о палеопочве девонского возраста обнаруженной в кровле протерозойского фундамента в Стойленском карьере (Старый Оскол, Белгородская область) (Алексеева и др. 2023). Палеопочва сформирована на коре выветривания железистых сланцев. Маломощная палеопочва (10-12 см), сформированная под бескорневой растительностью определена как аналог современной кислой сульфатной почвы. На Рис. 1 представлены дифрактограммы железистого сланца и палеопочвы на нем сформированной. Доминирующими фазами в составе сланца являются слоистые 7\AA - минералы – бертьерин и каолинит, в качестве примесей содержатся сидерит и пирит. Такая минеральная ассоциация типична для железорудных и бокситоносных кор выветривания КМА – продуктов фанерозойского выветривания докембрийский пород. Было показано, что бертьерин является главным силикатом в их составе (Никитина 1983; Никулин 2013; Овчинникова 2020 и др.). Он формируется по слюдам исходных кристаллических сланцев. Материал изученного в работе палеопочвенного профиля демонстрирует отличия от почвообразующей породы, которые проявляются в перераспределении содержания перечисленных выше фаз. Показано, что при обозначенных выше трудностях диагностики рентгендифрактометрическим методом бертьерин, вместе с тем, надежно диагностируется методом Мессбауэровской спектроскопии – качественно и количественно. Спектр включает два дублета с параметрами: Fe^{2+} – IS = 1.117 мм/сек и $Q_s = 2.45$ мм/сек и Fe^{3+} – IS = 0.3 мм/сек и $Q_s = 1,1$ мм/сек. Исследование показало, что сланец содержит около 50 % бертьерина, дополнительно - 15 % гематита, 9 % - сидерита, а также пирит. Основными минералами материала кровли палеопочвы являются сидерит (67 %) и пирит (25%), доля бертьерина сокращается до 8 %, гематит отсутствует. Предполагается, что сидерит в кровле палеопочвы представляет собой продукт почвообразования – замещает бертьерин. Источником пирита является сохранившаяся органическая подстилка, мощность которой достигает 3 см. Профиль палеопочвы дифференцирован и по химическому составу. В материале кровли резко сокращается содержание SiO_2 и Al_2O_3 . При этом возрастают концентрации Fe_2O_3 , S, CaO и MnO. Рост величины индекса IOL (индекс латеритизации), снижение концентраций SiO_2 и Al_2O_3 и резкое падение интенсивности 7\AA пика на дифрактограммах говорят о глубоких

преобразованиях материала кровли палеопочвы, затрагивающих в первую очередь структуру Fe^{2+} - содержащего бертьерина.

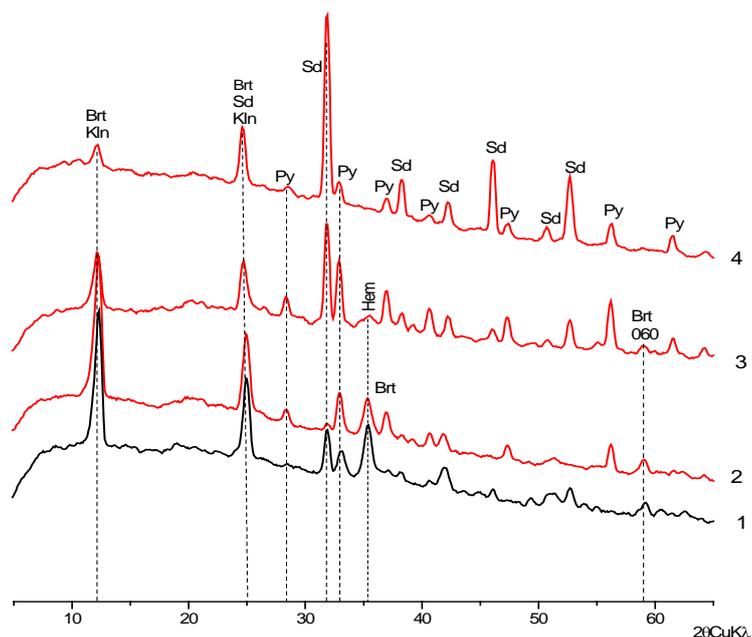


Рис. 1 Рентгендифрактограммы материала изученной палеопочвы: 1 – почвообразующая порода - железистый сланец; 2 – материал почвенного профиля; 3 – пудровый материал из каверн кровли палеопочвы; 4 – материал бугров на поверхности палеопочвы. Обозначения: Brt- бертьерин, Kln- каолинит, Sd – сидерит, Py – пирит, Hem – гематит. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 24-24-00244).

УДК 631.4

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КРИОГЕННЫХ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ НА СЕВЕРЕ БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Аюшина Т.А.¹, Убугунов В.Л.¹, Убугунова В.И.¹, Варламов Е.Б.², Ласточкин Е.И.³, Насатуева Ц.Н.¹, Жамбалова А.Д.¹

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail:

ubugunov@mail.ru;

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: varlamov_eb@esoil.ru;

³Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: gin-buryatia-07@yandex.ru

На северо-западе Баргузинской котловины, в 1 км южнее Кучигерских гидротермальных источников обнаружены криогенные бугры пучения, приуроченные к тектонически активному разломному полю Байкальской рифтовой зоны. Здесь отмечаются выходы минеральных источников, а также многочисленные скрытые (субфлювиальные и субаквальные) разгрузки газогидротермальных флюидов, распространенные в пространстве по принципу «блуждающего сита», приводящие к локальной деградации многолетней мерзлоты и скоплению избыточной влаги. Результатом этого становится появление нетипичных для данной территории криогенных форм рельефа со специфическими свойствами слагающего их материала, резко отличного от почв фоновых территорий окружающей озерно-аллювиальной равнины.

В настоящем сообщении представлены результаты вскрытия наиболее «свежего» из обнаруженных нами бугров пучения – ВЛК-15 (N54,86929, E110,98677), представляющего

собой слегка продолговатое куполообразное, овальное в проекции криогенное поднятие правильной формы с относительной высотой около 3 м. На момент обследования (2020 г.) поднятие было полностью лишено растительности и подвергалось водной эрозии. Верхние слои ранее были покрыты почвой, поскольку после поверхностного смыва на присутствовавших местах останцовых столбчатых кочках высотой 20-30 см отмечали остатки корней травянистых растений. Округлое мерзлотное ядро, повторяющее поверхность гидролакколита, располагалось на глубине 120-130 см. Положение бугра в ландшафте соответствует открытой системе формирования гидролакколитов с гидродинамическим напором подмерзлотных вод с их восходящим движением по трещинам и таликам в мерзлоте. Линза льда образуется в поверхностном сезонно-талом слое. В окружающем ландшафте были обнаружены другие разнообразные по форме, размеру и возрасту криогенные поднятия, сгруппированные в одну общую приподнятую над поймой сложную конструкцию, частью которой являлся и бугор ВЛК-15.

Материал бугра был представлен очень легким, сопоставимым по плотности с пенопластом (0,27-0,45 г/см³) сильно пылящим субстратом. Профиль в верхней части практически не дифференцирован, имел частично засыпанные трещины растяжения. Глубже 50 см отмечена слабо выраженная слоистость. По морфологическим признакам над мерзлотным ядром было дифференцировано 7 слоев.

По физико-химическим свойствам грунт в профиле очень неоднороден по pH и гранулометрическому составу. Значения pH менялись по глубинам в очень широком диапазоне (от 2,6 до 6,5) с минимумом в центральной части стенки и максимумом – в нижней. Содержание физической глины не имело однозначного вертикального распределения и на ряде стенок описывалось равномерно-аккумулятивным (близким к прямому) профилем, на других – прогрессивно-аккумулятивным (выпуклым). Состав грунтов определен в диапазоне от суглинистого до легкоглинистого, в нижних слоях чаще облегался вплоть до супеси. Потеря при прокаливании (ППП) грунтов имела выпуклое распределение, изменяясь с глубиной от 19,8% до 8,6% с максимумом (26,9%) в слое 52-62 см.

Крайне необычным было сопряжение сильноокислой реакции среды с большим количеством легкорастворимых солей (0,36-2,48%, в среднем 1,18%). 90% образцов было в той или иной степени засолено. Причем отмечена средняя обратная корреляционная связь ($r = 0,54$) распределения этих показателей в профиле ($n = 78$), т.е. при увеличении количества солей значение pH снижалось. Резко доминирующими в составе солей выступали ионы кальция и сульфаты. В ряде случаев в составе катионов возрастали количества натрия и калия, в связи с чем степень засоления, определенная по химизму, возрастала от слабой до средней, сильной и очень сильной. Преобладающий тип химизма по анионам сульфатный (78%), временами хлоридно-сульфатный (10%), а по катионам – магниевый (58%) и магниевое-натриевый (25%), реже натриевый (12%) и натриево-магниевый (6%). Во всех образцах отмечалось расчетное присутствие гипса и участие соды.

Геохимические свойства ВЛК-15 свидетельствуют о сильном эндогенном влиянии восходящих флюидов. В образцах отмечались очень высокие коэффициенты концентраций к кларку литосферы (КК) валовых количеств серы, вольфрама и молибдена. КК серы при вариациях от 2 до 31 в среднем ($n=79$) составил 15,5 (медианное значение 16,3). КК вольфрама ($n=63$; 16 определений было ниже предела обнаружения, поэтому в расчеты не включались) варьировал в диапазоне 2,5-11,4, составляя в среднем 5,2 (медиана 5,0), а КК молибдена ($n=79$) – 1,3-8,8, в среднем 3,9 (медиана 4,1). Подобная геохимическая ассоциация может свидетельствовать о предпосылках поверхностного метасоматоза и зачаточном вольфрам-молибденовом рудогенезе, которые встречаются в тектонически активных областях с субвулканическими интрузивами. Этот процесс уже находит свое отражение в элементном составе изученных отложений, но пока не выражен в минералогическом. W и Mo в повышенных концентрациях обнаруживались нами также вблизи разгрузки

Кучигерских гидротерм, а также в некоторых других локациях Улюнханской впадины, гидрологически не связанных с минеральными источниками, где по большому числу индикаторов высока вероятность скрытой разгрузки глубинных флюидов. Возможность переноса от Кучигерских гидротерм и аккумуляции W, Mo и S в подчиненных позициях (ВЛК-15) теоретически возможна, но результаты наших геохимических исследований в районе позволяют предполагать преимущественно автономный источник их поступления. Минералогические исследования методом сканирующей электронной микроскопии показали, что мелкозем верхней 1-м толщи бугра представлен в большей степени кварцевыми створками диатомовых водорослей, что свидетельствует о его донно-озерном генезисе и объясняет очень низкую плотность и экстремальные физико-химические свойства субстрата. Кроме биогенного кварца отмечены зерна большого числа минералов: плагиоклаза (альбита, олигоклаза, лабрадора), калиевого полевого шпата, эпидота, амфибол (в т.ч. роговой обманки, гастингсита), хлорита, барита, циркона, ильменита, висмута, аморфных оксидов.

Минералогический состав илистой фракции верхнего слоя (12-22 см) был представлен смектитовой фазой – иллитом в сопровождении хлорита и каолинита. Присутствовало небольшое количество кварца, плагиоклаза и специфического минерала, определенного нами, предположительно, как ярозит ($KFe_3[SO_4]_2(OH)_6$). Рентгенографические данные всех минералов имеют слабовыраженные основные базальные рефлексы с широким основанием, что свидетельствует о значительной аморфизации глинистых минералов. Что касается ярозита, то по рентгенографическим параметрам согласно (Браун, 1965) этому минералу соответствует высокое содержание калия (около 8%) и натрия (0,8%). Обработки ориентированных препаратов не дали каких-либо дополнений.

Таким образом, в холодных областях Байкальского рифта на фоне разгрузок газогидротермальных флюидов происходит локальное образование сложносоставных гидролакколитов, при котором наблюдается криогенное пучение и турбирование поверхности с подъемом донных отложений. Последние характеризуются специфическими свойствами: 1) сильноокислой реакцией среды, сочетающейся с засолением; 2) присутствием гипса; 3) очень низкой плотностью грунта; 4) преобладание в минералогическом составе биогенного кварца (створок диатомовых водорослей) и большого числа сопутствующих минералов, в т.ч. очень редкого – ярозита. Развитие почв в изученной локации крайне осложнено эндогенно обусловленными экстремальными условиями функционирования биоты.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта Института общей и экспериментальной биологии СО РАН FWSM-2021-0004 №121030100228-4.

УДК 631.48

ПРОФИЛЬНЫЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ НА ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ.

Варламов Е.Б.¹, Убугунов В.Л.², Убугунова В.И.²

¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, e-mail: evgheni968@rambler.ru.

²Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: ubugunov@mail.ru

Предоставлены результаты исследования профильного минералогического состава сопряженной экопары пары почв, сформировавшихся на однотипных супесчаных отложениях, но под воздействием различных растительных сообществ (лесной и степной растительных ассоциаций) песчаного массива Нижний Хуйтэн (Баргузинская котловина, Республика Бурятия). Почвенные исследования Баргузинской котловины весьма многочисленны, а работ по минералогии почв единичны. Метод минералогического анализа существенно дополняет метод химического исследования почв. Изучение

минералогического состава по горизонтам почв дает наиболее полное представление о процессах почвообразования, при этом особый интерес представляю почвы, развитые на однотипных материнских породах, но под разными растительными ассоциациями. Для изученных почв характерны своеобразные региональные особенности, а именно: 1) малая мощность профиля при достаточно четкой его дифференциации на генетические горизонты; 2) легкий гранулометрический состав высоким содержанием крупно пылеватых и песчаных частиц и незначительным (<3 %) количеством частиц менее 1 мкм; 3) укороченность гумусового горизонта.

Минералогический состав фракции почв исследован рентгендифрактометрическим методом, по общепринятым методикам для глинистых и кластогенных минералов. В гранулометрическом составе почв преобладают фракции крупной пыли и мелкого песка. Среди различий между данной парой почв следует указать существенное содержание (23-36%) фракции мелкого песка (0,25-1мм) разр. под степной растительностью и незначительное его содержание (около 2%) в разр. под лесом. Общей чертой указанных почв является невысокое содержание илистых частиц в пределах 3%.

Основными компонентами минералогического состава всех изученных фракций >1 мкм обоих разрезов являются полевые шпаты двух видов: плагиоклазы (альбит) (Пл) и калиевые полевые шпаты (ортоклаз) (КПШ), кварц (Кв), слюды типа мусковит биотит с высоким содержанием Mg и Fe, хлорита железистой разновидности и амфиболы (Ам). Долевое соотношение указанных минералов во фракциях в зависимости от размера частиц меняется. С увеличением размеров фракций доля в них Пл, КПШ, Кв увеличивается, а доля хлорита, слюд и амфиболов снижается и наоборот по мере уменьшения размера частиц доля последних минералов возрастает. Почвообразующие породы изученных разрезов имеют однотипный качественный и количественный состав минералов с преобладанием полевых шпатов, кварца, слюд, хлоритов. В профилном распределении выше указанных минералов отмечается тенденции более высокого накопления к поверхностным горизонтам кварца, Пл, КПШ, и снижение содержания хлорита, амфиболов и слюд. Минералогический состав илистой фракции <1 мкм представлен ди-триоктаэдрическим иллитом, смешанослойным иллит-сметтитом с неупорядоченным переслаиванием пакетов иллита сметтитовой фазы и единичных слоев хлорита, каолинитом несовершенного типа. В распределении глинистых минералов обоих разрезов обращает на себя внимание однотипный элювиально-иллювиальный характер распределения СМ фазы, иллита, хлорита и каолинита. Более выраженная дифференциация по распределению минералов в профилях почв установлена в разр. под лесом, в котором дифференциация связана с разной степенью выветренности минералов на месте (in situ) и с признаками иллювиирования тонкодисперсных минералов в глубь профиля. Спокойный характер дифференциации минералов имеет разр. под степной растительностью при этом отмечаем увеличение в нем доли лабильных минералов и иллита. Профильное распределение хлорита и каолинита показывают тенденции в увеличении количества указанных минералов в глубь профилей почв. Эти тенденции хорошо согласуются с низкой устойчивостью хлорита в условиях почвообразования. Таким образом, наибольшие различия между изученными разрезами выявлены между минералами сметтитовой фазы и иллита в меньшей мере между хлоритом и каолинитом. Более подробно опишем минералогические отличия глинистых минералов между разрезами, которые наиболее выразительно проявляются в аградационном преобразовании унаследованного глинистого материала почвообразующих пород обоих почв. Установлены общие структуры глинистых минералов, выявленных в почвенных горизонтах в меньшей степени затронутых процессами почвообразования. Увеличение доли лабильного сметтитового компонента в профиле почвы разр. под лесом может свидетельствовать о дополнительном его поступлении при физическом дроблении и действии растительного опада на минералы пылеватых фракций, что подтверждается более низкими значениями содержания во фракции (1-5 мкм) ПЛ, КПШ, АМ и более высоким содержанием кварца. В тоже время, более сложные

молекулы гуминовых кислот способны блокировать межслоевые позиции смектитовых образований и препятствовать их трансформационным преобразованиям, что больше проявляется в почве под степной растительностью. Различная глубина и степень разрушения в профилях почв однопородных смешанослойных образований почвообразующих пород в почве разн. под лесом связывается с преимущественным продуцированием кислых агрессивных органических соединений лесного опада, действие которого существенным образом ослабляется выветриванием полевых шпатов. Преимущественное выветривание полевых шпатов в основном плагиоклазов сказалось на нейтрализации кислого опада и произвело эффект протекции минеральной части, что сказалось даже на таких слабоустойчивых к выветриванию минералов как хлорит и триоктаэдрический иллит глинистой фракции.

Таким образом, в почвах на песчаных отложениях с низким содержанием глинистых минералов процесс их трансформации характеризуется малыми скоростями. Трансформация минералогического состава песков в условиях экстроконтинентального климата замедлена, а наиболее контрастные различия между почвообразующей породой и почвенными горизонтами отмечены в лесной почве. Отмечается, что в условиях крайне замедленного выветривания минеральной основы кластогенных минералов и трансформации глинистых при их низком количестве фиксируются в профиле структуры, являющиеся продуктами стадийного формирования смешанослойных образований с разной степенью упорядоченности слоев. Региональным своеобразием минералогического состава почвообразующих пород исследованных почв следует считать небольшая доля кварца, высокое содержание полевых шпатов, слюд, амфиболов и хлоритов. В составе глинистого минералов илистых частиц в профилях почв обнаруживается заметное количество обломочного материала, имеющего близость рентгенографического профиля с частицами пылеватых фракций. Это связывается с физико-химической диспергацией основных компонентов пылеватых фракций, а также с разрушением минералов в результате процессов почвообразования и кислотного гидролиза.

Выводы

По минералогическим показателям изученные профили почв характеризуются слабо проработанными профилями силикатной части, о чем свидетельствует наличие в составе глинистых минералов смешанослойных иллита-смектита и хлорита и сопровождении этих минералов тонкодисперсной размерностью полевыми шпатами, кварцем.

Незначительные отличия тонкодисперсных минералов илистой фракции, по-видимому, определяется действием в течении большей части года низких температур и недостатка влаги в почвенном профиле.

Глинисто-минералогические показатели под лесом и степной растительностью рассматриваемых территорий относятся к таким в которых условия для выветривания силикатной части крайне неблагоприятны, что свидетельствует о слабом изменении минералогического состава в профилях изученных почв.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта Института общей и экспериментальной биологии СО РАН FWSM-2021-0004 №121030100228-4.

УДК 631.46

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРЕНИЯ БИОТИТА МИНЕРАЛЬНЫМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ КИСЛОТАМИ

Воробьева А.А., Толпешта И.И., Изосимова Ю.Г.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, vorobyova_96@list.ru

Растворение и трансформационные изменения глинистых минералов в кислых почвах гумидных областей происходит под влиянием биотических и абиотических факторов. Оба процесса протекают как за счет воздействия H^+ , так и в результате реакции с анионами

органических кислот, образующими прочные комплексы в основном с алюминольными группами глинистых минералов. Состав и концентрация низкомолекулярных органических кислот, активно выделяемых почвенной биотой, варьируют как в пространстве, так и во времени. Для оценки и прогноза выветривания глинистых минералов в процессе почвообразования необходимо иметь представление о вкладе анионов органических кислот в трансформацию и растворение минералов.

Для изучения роли и вклада анионов низкомолекулярных органических кислот в растворение биотита был проведен лабораторный эксперимент по взаимодействию биотита с органическими кислотами и соляной кислотой. Биотит инкубировали 0.0005 М растворами соляной, щавелевой, лимонной, салициловой и бензойной кислот в течение различных временных интервалов: 5, 12, 22, 42, 71, 107 и 161 суток. Эксперимент проводился при постоянной температуре 25 °С и начальном значении pH 4,5. В процессе эксперимента осуществлялся контроль за изменениями значений pH, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), электропроводности, а также концентраций K, Ca, Mg, Fe, Al, Si в жидкой фазе, которые определяли методом ICP-OES. Биотит до и после взаимодействия с кислотами изучали методом XRD (MiniFlex 600, Ригаку, Япония). Каждый из вариантов эксперимента проводился в трехкратной повторности.

Установлено, что в процессе взаимодействия биотита с кислотами изменился химический состав жидкой фазы, увеличились значения pH, ОВП и удельной электропроводности. В жидкую фазу перешли обменные катионы и элементы, входившие в кристаллическую решетку биотита (K, Ca, Mg, Fe, Al, Si).

Показано, что взаимодействие биотита как с органическими кислотами, так и с соляной кислотой привело к преимущественному выносу из кристаллической решетки Mg, что свидетельствует о растворении октаэдрической сетки. Мольное отношение Mg/Si в жидкой фазе во всех вариантах опыта было больше по сравнению с Mg/Si в решетке исходного биотита. С увеличением времени взаимодействия мольное отношение Mg/Si уменьшалось от 4.6 до 1.1 в разных вариантах опыта, но при этом оставалось выше, чем в исходном биотите (рис. 1А). Появление в жидкой фазе Si и Al свидетельствует о растворении тетраэдрической сетки. Мольные отношения Al/Si в жидкой фазе в вариантах опыта с лимонной и щавелевой кислотами, варьирующие в диапазоне значений от 0.34 до 0.60, свидетельствует о более активном выходе Al из решетки биотита по сравнению другими вариантами, для которых Al/Si варьировало от 0.05 до 0.32 (рис. 1Б).

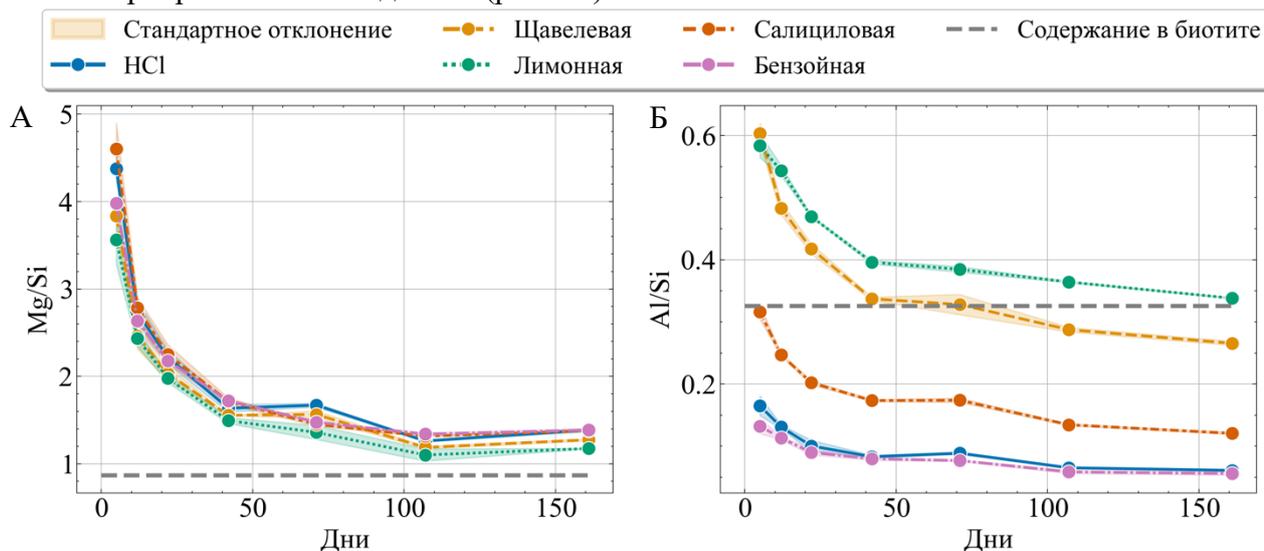


Рис. 1. Мольное отношение Mg/Si (А) и Al/Si (Б)

Дестабилизация кристаллической решетки привела к потере межслоевого K, однако постоянного роста концентрации K в растворе с увеличением времени взаимодействия кислот с минералом не наблюдалось, что связано замедлением скорости растворения биотита

в условиях проведенных экспериментов и установлением равновесия в системе минерал:раствор.

В условиях проведенных экспериментов скорость растворения биотита зависела от вида кислоты и уменьшалась в ряду: лимонная > щавелевая > салициловая > бензойная \geq соляная. Наиболее интенсивное растворение биотита обеспечивали лимонная и щавелевая кислоты, что связано с наибольшими константами устойчивости комплексов анионов этих кислот с Al кристаллической решетки.

Линейные участки кривых динамики перехода Si в раствор кислоты для всех вариантов хорошо описывались кинетическим уравнением реакции 1-го порядка. Константы скорости уменьшались в ряду: k_c (лимонная) > k_c (щавелевая) > k_c (салициловая) > k_c (бензойная) \geq k_c (соляная).

В условиях проведенного лабораторного эксперимента существенных трансформационных изменений биотита после инкубации с кислотами выявлено не было. Возможно, низкие концентрации кислот, использованные в эксперименте в условиях отсутствия оттока продуктов реакций, не обеспечивают того количества продуктов трансформаций, которое необходимо для обнаружения методом XRD.

На основании полученных данных можно заключить, что при прочих равных условиях органические кислоты вносят больший вклад в растворение биотита, чем соляная кислота, так как растворяют минерал как за счет протонирования поверхности, так и в результате образования поверхностных комплексов с Al кристаллической решетки. Чем выше константа устойчивости таких комплексов, тем интенсивнее растворяется биотит. Растворение биотита на первых этапах происходит инконгруэнтно с преимущественным выносом Mg из октаэдрической сетки.

УДК 631.4

СОРБЦИЯ 2,4-ДИХЛОРФЕНОКСИУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ ОРГАНОБЕНТОНИТОМ

Изосимова Ю.Г., Толпешта И.И., Смольский Е.Д., Столярова А.А., Стрелецкий Р.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, izosimova.julya@yandex.ru

В настоящее время из-за растущего населения и высокого спроса на зерно и другие продукты питания наблюдается увеличение использования пестицидов. Последние загрязняют почвы и сопредельные среды из-за их стойких и токсичных свойств. В частности, 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-D), один из хлорированных феноксигербицидов, широко используется для борьбы с сорняками. Поэтому обработка 2,4-D вызвала значительный интерес для исследований с целью снижения его опасности для здоровья человека и окружающей среды.

После внесения средств защиты растений на поля их концентрация под действием различных биологических и физико-химических процессов постепенно снижается. Действующее вещество пестицидов в окружающей среде подвергается процессам химического и микробиологического разложения, сорбции, перемещению в более глубокие слои почвы (даже в грунтовые воды).

В настоящее время в практику активно внедряются способы уменьшения негативного воздействия средств химической защиты растений на стадии их применения.

Один из таких подходов заключается в том, что в состав препаративных форм гербицидов вводятся природные сорбенты, такие как глинистые минералы, гуминовые кислоты и лигнин. Показано, что гербициды, закрепленные на поверхности глинистых минералов более устойчивы к микробному разложению, и вымываются из почвы гораздо медленнее, по сравнению с гербицидами, внесенными в почву без добавок сорбентов.

Для усиления эффекта закрепления гербицида на поверхности глинистого минерала, поверхность последнего можно гидрофобизировать. Для получения органоглин используют различные поверхностно-активные вещества, состоящие из углеводородного радикала

(гидрофобной части, от 4 до 20 атомов углерода) и полярной группы (гидрофильной части, OH, COOH, NH₂ и др.). Наиболее часто применяется обработка минералов алкиламмонийными катионами (например, гексадецилтриметиламмоний бромидом (НДТМА)). Эффективность использования органоглин будет зависеть от природы глинистого минерала, вида катиона-модификатора, количества катиона-модификатора, от ЕКО минерала, условий, в которых будет использован модифицированный препарат. Поэтому работы по поиску подходящих органоглин и определению условий их применения являются актуальной задачей.

Цель данной работы было выявить закономерности сорбции и оценить прочность закрепления 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты на бентоните и органобентоните.

Для получения органоглины использована бентонитовая глина Саригюхского месторождения (Республика Армения), содержащая около 90% монтмориллонита.

Минералогический состав исходного бентонита и органоглины изучались на рентгенодифрактометре Rigaku Miniflex 600. Концентрация 2,4-дихлорфеноксиуксусной определялась методом ВЭЖХ с УФ детектированием в соответствии с рекомендациями Роспотребнадзора на ВЭЖ-хроматографе Agilent 1100 с диодно-матричным детектором.

На основании проведенных экспериментов можно заключить, что модификация бентонитовой глины НДТМА в количестве, соответствующем 50, 100 и 150 % от величины емкости катионного обмена, привела к увеличению межплоскостного расстояния монтмориллонита до 13,9, 18,2 и 19,8 Å соответственно (рис. 1).

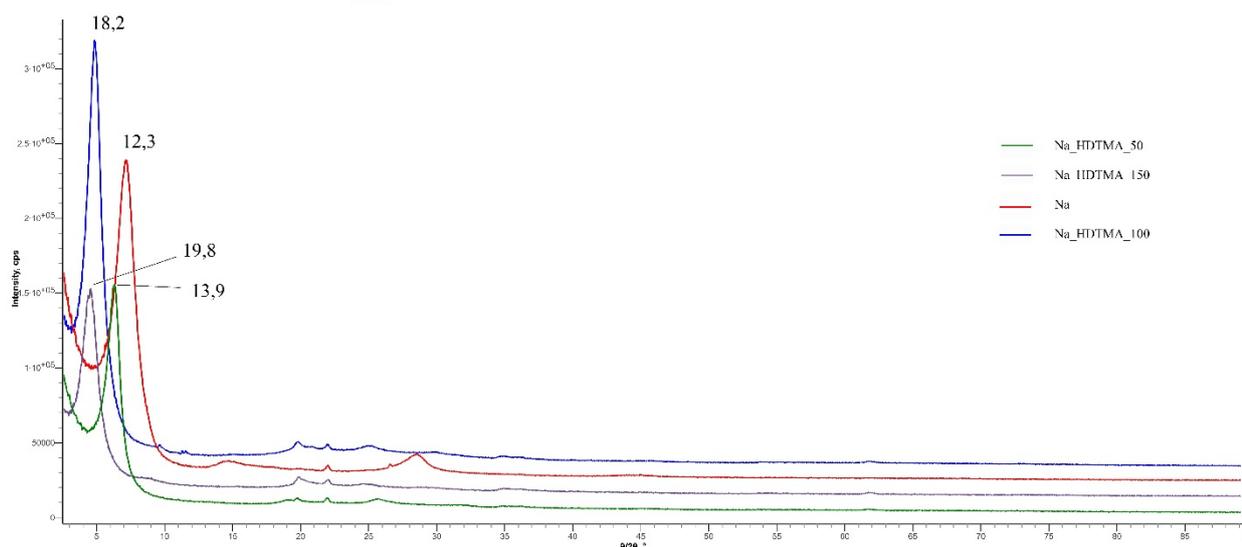


Рисунок 1. Рентгенограммы бентонита исходного (Na) и модифицированного НДТМА в количестве 50 (Na_HDTMA_50), 100 (Na_HDTMA_100) и 150 (Na_HDTMA_150) % от ЕКО.

Сорбционные эксперименты показали, что модифицированный НДТМА бентонит в условиях проведения экспериментов сорбирует в 2 – 3 раза больше 2,4-Д из растворов с концентрацией от 800 до 1500 мкмоль/л по сравнению с немодифицированным бентонитом и способен извлекать из водного раствора от 40% до 70% 2,4-Д.

На органоглине 2,4-Д закрепляется более прочно по сравнению с Na-бентонитом. Сорбированная на органоглине 2,4- дихлорфенолуksусная кислота экстрагируется водой хуже на 15% (для высоких исходных концентраций пестицида) и на 40% (для низких исходных концентраций пестицида), чем сорбированная на природном минерале.

УДК 631.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ БИОМИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАСТЕНИЯХ

Икконен Е.Н.¹, Овчинникова С.В.², Гольева А.А.³, Мергелов Н.С.³, Никерова К.М.⁴, Николаева Н.Н.⁴, Федоров А.А.⁵

¹ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail: likkonen@gmail.com;

²ЦСБС СО РАН, Новосибирск;

³ИГ РАН, Москва;

⁴ИЛ КарНЦ РАН, Петрозаводск;

⁵ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск.

Формирование биогенных минералов в растениях является распространенным и физиологически значимым для успешной жизнедеятельности растений процессом. Минералообразование может протекать во всех органах растений у представителей разных семейств. Чаще всего в растительных тканях обнаруживают такие минеральные фазы как карбонаты, оксалаты и аморфный кремнезем. Помимо обширной физиологической значимости минералообразования для растений обозначена экологическая роль этого процесса, заключающаяся в фотосинтетической ассимиляции углерода, накоплении его в биоминералах и секвестировании в виде почвенного карбоната и/или фитолитов, выводя, таким образом, из атмосферного цикла.

В задачи данной работы входило выявление наличия минеральных фаз в тканях растений более 40 видов семейства *Boraginaceae* Juss., их идентификацию, оценку распределения и содержания в растительных тканях. Методами рамановской спектроскопии, сканирующей электронной, оптической и поляризационной микроскопии определено, что у исследованных видов формирование минеральных фаз может осуществляться во всех слоях перикарпия и семенной кожуре, а также в клетках трихом листьев и стеблей.

Определено, что более чем в 30% из исследованных видов углерод секвестрируется в минеральной фазе, представленной кристаллическим карбонатом кальция в форме кальцита, отложение которого осуществляется во внутриклеточном пространстве и в поровых каналах клеток перикарпия плодов. Кальцит является устойчивым, малорастворимым веществом, которое может сохранять и не высвобождать углерод в течение длительного времени. У большинства видов синтез кальцита сопровождается формированием аморфного диоксида кремния, что придает дополнительную устойчивость образовавшимся минеральным структурам. У всех исследованных видов общим является окремнение внешнего слоя оболочки плода, однако распространение процесса минерализации по перикарпию плодов существенно различается между видами растений. В структуре клетки минеральные фазы строго дифференцированы. Тогда как кальцит синтезируется во внутриклеточном и поровом пространствах, окремнению подвергаются клеточные стенки, капсулируя таким образом внутриклеточный кальцит. Поскольку кремнезем обладает высокой твердостью и плотностью, практически не растворим в воде, биологически не разлагаем и устойчив к разрушению, попадая в почву после отмирания растения, он первоначально способствует защите зародыша от патогенов и потерь влаги, а в долгосрочной перспективе препятствует не только деструкции кальцита, но и выводу углерода из остатков органического вещества, не подвергшихся минерализации. Высокая устойчивость минералов является причиной частой встречаемости плодов исследованного семейства на многих археологических памятниках.

Объем сформированного в плодах семейства карбоната кальция варьирует не только между растениями разных родов семейства, но и внутри одного вида в зависимости от эколого-географических и почвенных условий роста растений. Содержание минералов в плодах может достигать 40 вес%, при этом, на долю кальцита приходится более 60% от массы минеральных фаз.

С учетом обширных ареалов представителей космополитного семейства *Boraginaceae* (100 родов, 1700 видов) фотосинтетическая ассимиляция ими CO_2 и формирование в них биогенных карбонатов могут быть рассмотрены как непрерывный путь вывода углерода из атмосферы.

УДК 631.4 (571.54)

МИНЕРАЛОГИЯ СЛАБОРАЗВИТЫХ ПОЧВ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ ДОЛИНЫ РЕКИ ОЛОС (БАРГУЗИНСКАЯ КОТЛОВИНА)

Ласточкин Е.И.¹, Убугунов В.Л.², Убугунова В.И.²

¹Геологический институт СО РАН им. Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ, Россия, e-mail: gin-buryatia-07@yandex.ru

²Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия, e-mail: ubugunovv@mail.ru

Разнообразие почв пойм северо-западной части Баргузинской котловины представлено аллювиальными темно- и перегнойно-гумусовыми почвами, сочетающимися с засоленными почвами пониженных участков поймы и слабо развитыми почвами нетипичных для пойм положительных структур. Образование засоленных почв, как было показано ранее [Жамбалова, 2018; Убугунов, 2018; Хитров и др., 2019], обусловлено гидротермальной разгрузкой слабоминерализованных вод Кучигерских источников. Южнее, а радиусе до 6-7 км от выклинивания терм, обнаружены выделяющиеся в ландшафте точечные куполовидные поднятия высотой до 5 и более метров (рис.).

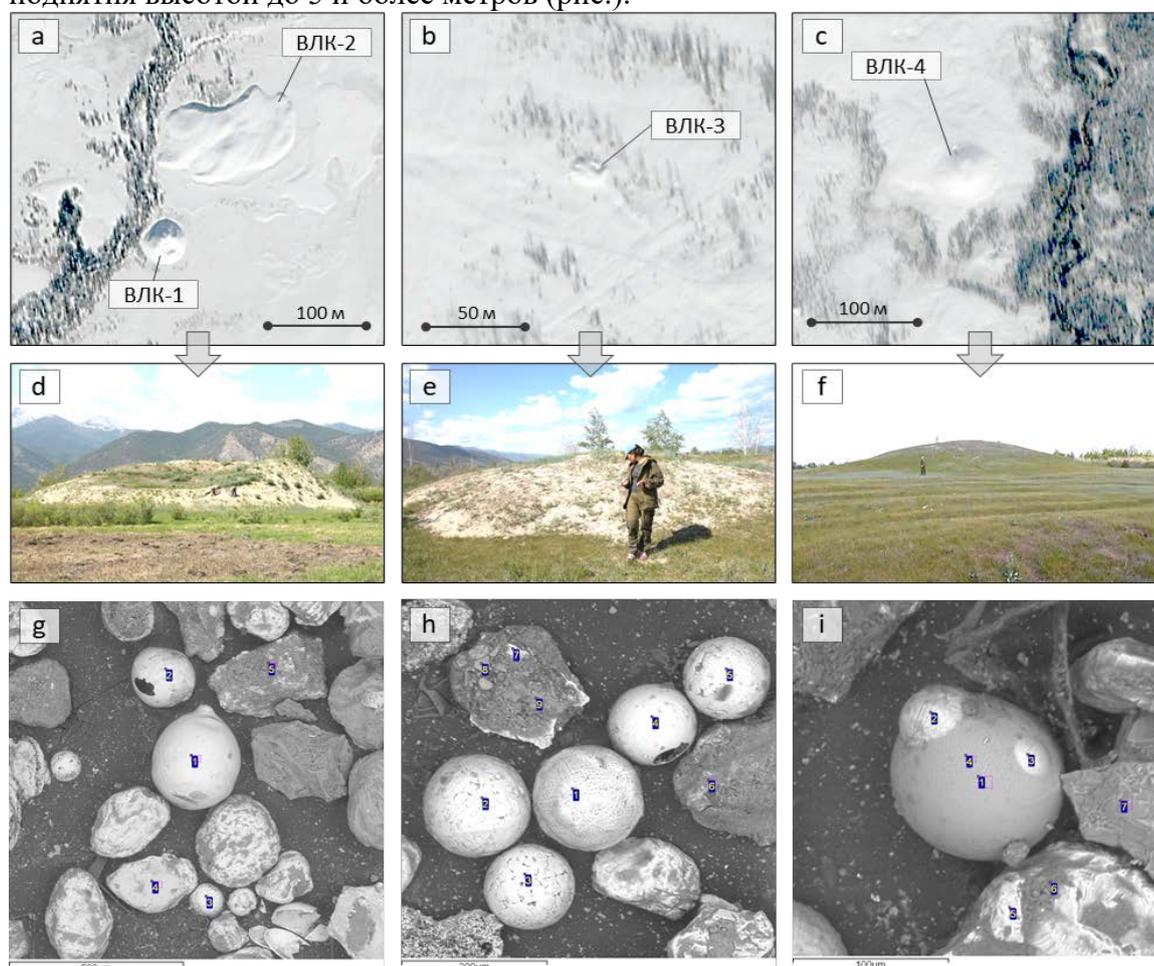


Рис. Бугры пучения в Улюнханской впадине южнее Кучигерских гидротерм на космо- (a, b, c) и фотоснимках (d, e, f) и примеры микросферул, обнаруженных в песке из ВЛК-1 (g, h, i) Формирование подобных структур в поймах рек Индихена, Олоса, Шэбэрсохэн имеет сложный генезис. Внешне многие точечные формы напоминают мерзлотные бугры пучения (гидролакколиты), характерные термокарстовым понижениям криолитозоны северных территорий земного шара. Однако, на севере Баргузинской котловины они формируются, по-видимому, по открытой системе, т.е. линзы льда образуются не в талике среди

многолетнемерзлой породы, а в верхнем сезонно-талом слое. Водное питание таких гидролакколитов происходит по трещинам в мерзлоте, где идет разгрузка глубинных флюидов, вследствие чего в субстрате бугров и на прилегающих позициях обнаруживается засоление и аномальные содержания некоторых химических элементов, прежде всего, серы, вольфрама и молибдена. Это позволяет считать бугры пучения одним из наиболее удобных индикаторов скрытой разгрузки гидротерм и современной тектонической активности в разломной зоне Байкальского рифта.

Цель исследований – изучить особенности минералогического состава слабообразованных почв бугров пучения (ВЛК-1, ВЛК-2, ВЛК-3 и ВЛК-4) и их связь с эндогенным фактором. Образцы, отобранные из материала бугров, сравнивались с фоновыми отложениями современного аллювия небольших горных рек (Олоса и Талинги), вытекающих из Баргузинского хребта, а также среднеплейстоценовыми отложениями песчаного массива Верхний Хуйтэн. Анализ минерального состава твердого осадка проводился на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP).

Исследования фоновых образцов показали, что почвообразующие пески урочища Верхний Хуйтэн имели богатый полиминеральный состав (26 минералов) с преобладанием калиевых полевых шпатов (30-35%), представленных ортоклазом, и плагиоклазов (40 до 50%), присутствовавших в виде альбита, реже – олигоклаза, а в единичных случаях – андезина и более основного лабрадора. В ассоциации с плагиоклазами, чаще олигоклазом наблюдается скаполит. Присутствие кварца незначительное, в пределах 10-15%. Также в песках были обнаружены единичные зерна темноцветных минералов: амфибола (гастингсит), пироксена (диопсид, авгит), эпидота (до 2%). Слюды представлены биотитом и мусковитом (1-2%). Среди акцессорных минералов встречались апатит, циркон, магнетит, титанит, ильменит (1%).

Ассоциация минералов аллювиальных песков рр. Олоса и Талинги характеризуется наличием кварца, калиевого полевого шпата, альбита, олигоклаза, андезина, единичных зерен роговой обманки, эпидота, хлорита, мусковита. Акцессорные минералы представлены ильменитом, цирконом и апатитом. Такой состав соответствует преимущественно кислым, в меньшей степени базитовым породам, подверженным метаморфическому процессу.

В слабообразованных почвах бугров пучения отмечена однотипная с вышерассмотренными отложениями ассоциация минералов: кварц, калиевый полевой шпат, альбит, андезит, биотит, ганстингсит, эпидот, хлорит, акцессорные минералы (ильменит, циркон, титанит, гранат, апатит). В тоже время в буграх ВЛК-1 и ВЛК-2 дополнительно встречены барит, доломит, кальцит хромит, турмалин, шпинель, кордиерит, хромферит, пирротин, а также оксиды. В 2-х образцах также обнаружено большое количество микросферул (рис.) размерностью 50-250 мкм, состоящие из Fe, O и C. Появление подобных ассоциаций и «железистых» сферул может быть связано с особыми флюидодинамическими условиями почвообразования (флюидно-пирометаморфическим, парогазовым, гидротермальном-осадочно-хемогенным процессами). Результаты показывают, что бугры пучения сформированы из уже захваченных минералов как кислых, так и основных пород, а присутствие метаморфических, гидротермальных минералов и сферул может быть связано с различными условиями флюидных разгрузок.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта Института общей и экспериментальной биологии СО РАН FWSM-2021-0004 № 121030100228-4.

УДК 631.4

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СТЕПНЫХ ПОЧВАХ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Мальшев В.В., Алексеева Т.В., Алексеев А.О.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail: vladmalyscheff@yandex.ru

Образование и стабильность различных минералов, содержащих железо зависят от почвенно- климатических условий, таких как содержание влаги, окислительно-восстановительный потенциал (Eh), pH, присутствие органических лигандов, температуры почвы и сезонных колебаний этих параметров. В степной зоне доступность железа может быть ограничена в связи с медленной кинетикой растворения железосодержащих минеральных фаз, которая особенно ярко проявляется в нейтральных или щелочных средах pH, характерных для карбонатных почв. Целью данной работы было изучение соединений железа, его содержания в почвах, изменения валентного состояния и форм соединений в связи с процессами почвообразования в различных типах степных почв. Также проведено сравнение двух методов определения содержания “несиликатного” железа (свободных форм его соединений) с помощью химической вытяжки Мера-Джексона и Мессбауэровской спектроскопии.

Изучены общее содержание, формы и минералогия соединений железа почв лесостепной, степной и полупустынной зоны от центрально-черноземных районов до Прикаспийской низменности и от Южного Урала до Керченского пролива. В проведенное исследование включены черноземы (n=40) (Chernozems), каштановые (n=15) (Kastanozems), солонцы (n=7) (Solonetz), бурые полупустынные (n=7) (Calcisols). Проведенное исследование показывает, что соединения железа в степных почвах отражают условия почвообразования.

Распределение железа в профиле степных почв определяется гранулометрическим составом и сконцентрировано прежде всего в илистой фракции и фракции тонкой пыли. При этом в черноземах и каштановых почвах фиксируется увеличение содержания валового железа в гумусово-аккумулятивном горизонте (на 0.4-0.6%) без увеличения содержания илистой фракции и фракции мелкой пыли. В солонцах наблюдается аккумуляция железа в солонцовом горизонте, как следствие элювиально-иллювиального перераспределения ила. В бурых полупустынных почвах горизонты аккумуляции железа не фиксируются. Показано, что в черноземах и каштановых почвах накопление железа в гумусово-аккумулятивных горизонтах связано с процессами формирования здесь несиликатных форм железа. В результате окислительно-восстановительных процессов, гидролиза и других процессов выветривания, активно идущих в гумусово-аккумулятивном горизонте, Fe^{2+} высвобождается из структуры алюмосиликатных минералов. В щелочных условиях среды дальнейшее полное или частичное окисление Fe^{2+} до Fe^{3+} приводит к формированию оксидов и гидроксидов железа. Рост величин удельной магнитной восприимчивости в гумусово-аккумулятивных горизонтах степных почв также указывает на формирование ферримагнитных минералов. Величина этого прироста определяется биоклиматическими условиями.

Для черноземов характерно равномерное распределение масс-баланса (tFe, Zr) по профилю. В верхней части профиля в зависимости от подтипа и состава почвообразующих пород tFe, Zr может изменяться от - 0.1 до 0.3, что свидетельствует о слабом выносе и привносе железа. Характерный для солонцов рост tFe, Zr связан с развитием солонцового процесса и определяется степенью его выраженности, в частности текстурной дифференцией профиля. В результате последней в солонцовом горизонте происходит накопление илистой фракции, которая является наиболее богатой железом составляющей степных почв. Показано, что соединения железа в составе илистой фракции почв находится преимущественно в форме оксидов и гидроксидов в супердисперсном состоянии. Профильное распределение tFe, Zr каштановых почв имеет схожий с солонцами характер, это связано с присущей для этих почв солонцеватостью. Для изученных бурых полупустынных почв характерно нахождение показателя tFe, Zr в отрицательной области с плавным увеличением до 0 в почвообразующей породе. По большей части подобное распределение tFe, Zr определяется в первую очередь

тем, что почвообразующие породы бурых полупустынных почв более богаты Fe и Zr, чем верхние горизонты. Объяснить данный результат как вынос в результате выветривания затруднительно, так как в данных почвах железо находится преимущественно в силикатных минералах, а их разрушение и, следовательно вынос Fe в условиях сухого климата выражены слабо. По-видимому, подобное распределение в бурых полупустынных почвах определяется неоднородностью состава почвообразующих пород.

Прирост величины магнитной восприимчивости в гумусово-аккумулятивных горизонтах черноземов, каштановых почв и солонцов, определяется формированием в них оксидов железа, частично магнетита. Кроме того, обнаруженный во многих гранулометрических фракциях (<2, 2-5, 5-10, 10-50 мкм) гематит с общим содержанием в почвах 5-10%, несомненно, также является важным минералом, вносящим вклад в магнитную восприимчивость.

Для более детального понимания процессов преобразования соединений железа в степных почвах были проведены исследования гранулометрических фракций (<2, 2-5, 5-10, 10-50, 50-250, > 250 мкм) методом Мессбауэровской спектроскопии и магнитной восприимчивости на примере чернозема выщелоченного, темно-каштановой, светло-каштановой солонцеватой и бурой полупустынной почвы. Для этих почв было показано, что от 56 до 71% Fe³⁺ в составе илистой фракции содержится в высокодисперсных гидроокислах в суперпарамагнитном состоянии и в слабокристаллизованных «свободных» формах соединений железа. В гумусово-аккумулятивных горизонтах степных почв фиксируется сокращение доли Fe²⁺ в алюмосиликатах. В ходе почвообразования в зависимости от окислительно-восстановительных условий, присутствия органического вещества и воды формируются высокодисперсные гидроокислы и гематит. В связи с наблюдаемым преобладанием формирования гематита над гетитом в илистой фракции изученных почв в зависимости от климатического фактора, становится возможным использовать отношение гетит/(гематит+гетит) для реконструкции атмосферных осадков. Результаты, полученные методом Мессбауэровской спектроскопии фиксируют значительное увеличение содержания несиликатного железа в гумусово-аккумулятивных горизонтах степных почв в сравнении с почвообразующей породой, что является важным свидетельством формирования оксидов железа в ходе почвообразования. При сравнении методов определения несиликатного железа в почвах (Мессбауэровская спектроскопия и вытяжка Мера-Джексона) были получены существенные различия в результатах, что указывает на недооценку количества свободных форм железа химическим методом. Количество несиликатного железа, измеренное методом Мессбауэровской спектроскопии, значительно превышает результаты, полученные с применением этой вытяжки. Особенно это характерно для гумусово-аккумулятивных горизонтов почв, для которых выявлено накопление новообразованных высокодисперсных оксидов и гидроксидов железа.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 24-24-00244).

УДК 631.425.4

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМОЛ НА НАНО- И МИКРОСТРУКТУРУ ПОЧВЫ

Мусаэлян Р.Э.

Почвенный институт им.В.В. Докучаева, Москва, romaniero1@gmail.com

Данное исследование направлено на изучение влияния синтетических и натуральных закрепителей на структуру почвы на нано- и микроуровне при их использовании в момент пробоподготовки образцов почвы. Важно отметить, что сохранение ненарушенной структуры образца считается ключевым требованием для дальнейшего анализа методами оптической и электронной микроскопии, компьютерной томографии и т.п.

Использование закрепителей при подготовке образцов для микроскопических исследований является распространенной практикой. Однако до сих пор не было проведено исследований о том, как эти закрепители влияют на структуру почвы. Данный пробел в знаниях может привести к ошибочной интерпретации физических свойств и функций почвы, особенно связанных с поровым пространством, что может повлиять на разработку гидродинамических моделей почвы. Структурные изменения при воздействии возможных внутренних напряжений, созданных синтетической смолой, могут также оказать негативное влияние на интерпретацию данных микроморфологических исследований и на количественный анализ почвенных характеристик при использовании программного обеспечения.

Цель, объекты и методы.

Цель исследования состоит в том, чтобы выяснить, какие изменения происходят в структуре почвы при использовании различных закрепителей. Проводятся сравнительные анализы между образцами, обработанными смолами, и нативными образцами, а также между различными методами измерения, такими как малоугловое рентгеновское рассеяние (МУРР) и компьютерная томография (КТ). Важным результатом исследования будет не только определение влияния синтетических и натуральных закрепителей на структуру почвы на нано- и микроуровне, но также апробация и получение оптимальных характеристик оптической части станции БиоМУР КИСИ для органоминеральных объектов.

Объект представлен двумя материалами: почвой (чернозем, солонец светлый квазиглееватый, каштановая квазиглееватая (по КИДПР)) в виде агрегатов и микромонолитов из разных генетических горизонтов и различными закрепителями (Eliqua Plus + P&G, Epoxy L + Hardener L, Allied EpoxySet, Акерох 1005, Spolchemie CHS-Epoxy 520 + DEM 445, Diamant Premier E-1016, BrotLab Hill, Colle HQ, канадский бальзам). Образцы почвы подготавливались к экспериментам двумя способами: 1) для МУРР исследований – высушивались, растирались резиновым пестиком и просеивались через сито 0.25мм; 2) для КТ вырезались и высушивались микромонолиты.

Ход эксперимента.

На первом этапе проводилась съемка и анализ только образцов заполнителей после отверждения в виде тонких пластинок. Отверждение смол производилось в соответствии с рекомендациями производителя.

Второй этап включал выборку смол из первого эксперимента. Растертые и просеянные образцы засыпались в кварцевые капилляры, которые затем заполнялись закрепителем. Третий - включал заполнение закрепителем, наиболее подходящим по физико-оптическим параметрам и ранее полученным данным МУРР, различных почвенных горизонтов. Почва также подвергалась растиранию, просеиванию и засыпанию в капилляры. Съемка проводилась до и после пропитки.

На четвертом этапе образцы почвы, представленные микромонолитами, отобранными в медицинские полипропиленовые шприцы диаметром 25 мм, были отсняты методом КТ в двух состояниях: без пропитки и с пропиткой закрепителем.

Соответствующие этапы включали вычитание сигнала рассеяния от пустого капилляра, многократные повторные измерения и использование статистических критериев для оценки достоверности различий.

Выводы.

Проведенный комплексный эксперимент впервые показал влияние искусственных и натуральных закрепителей на структуру почвы на нано- и микроуровнях. Были подобраны и апробированы оптимальные характеристики оптической части станции БиоМУР КИСИ для органоминеральных объектов: подобрано необходимое для получения качественной дифракционной картины расстояние до детектора в 2,5м; максимальный размер анализируемой почвенной МУРР неоднородности составил 150-170нм, а наиболее информативный диапазон от 15 до 180 точек; установлено, что при выборе корреляционного сглаживающего коэффициента рекомендуется сравнивать экспериментальные данные и

корреляционную функцию в области первых 5-6 точек графика, для которой разработаны преобразования Генье.

Сделан вывод, что синтетическая смола в качестве закрепителя оказывает влияние на микроструктуру почвы за счет набухания почвенной массы. Это влияние, хотя и незначительно, должно быть учтено при сравнении количественных структурных показателей образцов, обработанных закрепителем, с данными, полученными на нативных образцах.

Также было обнаружено однотипное распределение неоднородностей в наноструктуре синтетических смол, используемых в качестве закрепителей. Получены данные о влиянии закрепителя на наноструктуру различных почвенных горизонтов. Необходимы дальнейшие исследования почвы ненарушенного микросложения в тонких срезах из микромонолитов. Авторы выражают благодарность Романенко К.А. за помощь в интерпретации данных МУРР, а также Абросимову К. Н. за проведение КТ исследований. Томографические исследования проведены на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием “Функции и свойства почв и почвенного покрова” Почвенного института им. В. В. Докучаева.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №21-74-20121.

УДК 631.41

СПЕЦИФИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ МИНЕРАЛОВ В ПОЧВАХ С ЭЛЮВИАЛЬНО-ИЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЕЙ ПРОФИЛЯ.

Погожев Е.Ю.

Музей Землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, pogozhev@mail.ru

Объектами для исследований (8 разрезов) послужили подзолы и подзолистые почвы Архангельской области с выраженной элювиально-иллювиальной дифференциацией почвенного профиля. Район исследований относится к зоне подзолистых почв средней тайги, фация холодных промерзающих почв, находится на границе двух провинций – Карельской и Онего-Двинской. Почвенные разрезы заложены в пределах Валдайского оледенения. Минералогический анализ тяжелой и легкой фракций выполнялся иммерсионным методом с помощью поляризационного микроскопа с предварительным разделением на тяжелые и легкие минералы в бромформе (уд. масса 2,9 г/см³). Для подсчета тяжелых минералов во фракции крупной пыли было применено центрифугирование в бромформе. Фракция крупного и среднего песка (1-0,25 мм) изучалась в отраженном свете под бинокляром. Были получены фотоснимки поверхности зерен основных минералов крупных фракций почв с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ). С целью выявления степени потери элементов в исследуемых минералах был использован метод микрозондового рентгеновского анализа. Для этого использовалась приставка к сканирующему микроскопу.

Было установлено, что исследуемые почвы характеризуются достаточно высоким общим весовым содержанием тяжелых минералов (во фракциях песка и крупной пыли от 4-6 до 18%), что связано с приуроченностью характеризуемой территории к отложениям наиболее молодой ошашковской стадии последнего валдайского оледенения и, соответственно, их относительно слабой выветрелостью. В составе тяжелых минералов преобладает роговая обманка, эпидот, гранат, при заметном доминировании роговой обманки (до 40-60%). Последнее связано с тем, что преобладающей питающей провинцией для этих отложений служат породы Скандинавии, для дериватов которых характерно преобладание роговой обманки. Следует обратить особое внимание на высокое содержание роговой обманки в составе фракций крупного и среднего песка, что служит показателем их молодости и минералогического богатства. Роговая обманка относится к числу неустойчивых к выветриванию первичных железосодержащих минералов и присутствие ее в большом количестве может в значительной мере обеспечивать поступление в почву продуктов

разрушения в виде гидроксидов железа, маскирующих процесс отбеливания частиц мелкозема. О процессе интенсивного выветривания роговой обманки в песчаных фракциях, сопровождающегося дроблением, по-видимому, в значительной мере криогенной природы, свидетельствует высокое содержание роговой обманки (до 70%) во фракции крупной пыли. О молодости отложений свидетельствует также повышенное содержание во фракции крупного песка обломков пород (от 8 до 22%). По полученным данным было установлено, что обломочный материал исследуемых почв относится преимущественно к амфибол-биотитовым гнейсам, с присутствием эпидота. В составе песчаных фракций мелкозема увеличивается содержание амфиболов (роговая обманка и актинолит) и уменьшается доля пироксенов (диопсид, авгит), так же отмечено присутствие граната (альмандин), рудных минералов (магнетит, гётит), биотита и собственно эпидота. Отмечена тенденция к уменьшению средневзвешенного процента тяжелых минералов (16% для горизонта Е и 25% для горизонта В_f) и доли амфиболов среди минералов тяжелой фракции.

В составе легких минералов на фоне обычного для молодых валдайских отложений достаточно высокого содержания полевых шпатов во фракции крупного и среднего песка, а также в целом характерного для почв на ледниковых отложениях повышенного содержания полевых шпатов во фракции крупной пыли (0,05-0,01 мм), следует особо обратить внимание на присутствие во всех гранулометрических фракциях, особенно в крупной пыли, зерен биотита (от 3-5 до 16-18%, максимально до 30%). Присутствующий в легкой фракции биотит, во-видимому, в основном, представлен гидратированным биотитом, имеющим за счет потери железа при выветривании меньшую удельную массу и потому оказывающимся в группе легких минералов. С уменьшением размерности в легкой фракции возрастает доля полевых шпатов. Содержание кварца в легкой фракции колеблется от 80 до 90 % от общего числа зерен. Распределение кварца по профилю равномерно. Около 20 % легкой фракции составляют зерна полевого шпата. В горизонте Е содержание полевого шпата доходит до 30%. Остальной материал представлен разнообразными опалами, слюдами и окремнелыми растительными остатками.

При исследовании зёрен роговой обманки из разных генетических горизонтов подзолов и подзолистых почв с помощью растрового электронного микроскопа были обнаружены разные по морфологии текстуры. По происхождению они разделяются на литогенные и почвенные. Так к литогенным относятся текстуры со значительной глубиной с острыми краями, а к почвенным текстуры имеющие более сглаженные очертания (контуры). Установлено, что в момент разрушения минерала зерно распадается на игольчатые отдельности. Особенно эта тенденция была отмечена для эллиовиальной толщи. Это подтверждает гипотезу об интенсивности процессов выветривания в горизонте Е. Данные микронзондового анализа указывают на убыль элементов при выветривании роговой обманки в первую очередь таких элементов как Са, Mg, Fe. Сложнее оказалось определить степень выветривания минералов группы эпидота, где не наблюдается отчетливой тенденции к выветриванию в подзолистом горизонте. Минералы этой группы в основном в одинаковом количестве представлены как зернами затронутыми, так и абсолютно не затронутыми выветриванием разностями. Что позволяет сделать вывод о большей устойчивости минералов этой группы и отнести эпидот к ряду устойчивых минералов. В ряду устойчивости большей обладают минералы ряда клиноцоизит-эпидот, меньшей устойчивостью отличаются цоизиты. Также во фракции 1-0,25 тяжелых минералов наблюдались конкреции сферической формы, темно-коричневого цвета со сложным элементным составом, скорее всего этот материал относится к космической пыли и нуждается в детальном исследовании.

Почвы района исследований формируются на минералогически богатых ледниковых отложениях Валдайского возраста, что подтверждается большим выходом тяжелой фракции. Минералогический состав подтвердил, что формирование дифференцированного профиля

почв связано не с развитием более мощного слоя мелкозёма в результате почвообразования и выветривания, а с исходной литогенной неоднородностью мелкозёма.

УДК 631.4

ДЕСОРБЦИЯ СВИНЦА ИЗ ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДЕРНОВО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЫ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Столярова А.А., Ильичев П.А., Изосимова Ю.Г., Толпешта И.И., Карпухин М.М.

МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, stolarova-tonya@mail.ru

Механизмы процессов сорбции и десорбции ионов тяжелых металлов в почве важны для понимания доступности тяжелых металлов растениям и оценки их миграционной способности в ландшафте. Для прогноза десорбции свинца из почвы необходимо иметь представление о прочности связи свинца с различными почвенными компонентами и ее изменение под влиянием разных факторов.

Цель исследования - установить закономерности десорбции Pb(II) из илистой фракции, выделенной из минеральных горизонтов АУ, АВg и ВDg аллювиальной дерново-глеевой почвы.

Изученные горизонты по величине pH_{H_2O} относятся к кислым и слабокислым. Значение pH_{H_2O} повышается вниз по профилю от 4,90 в горизонте АУ до 5,49 в горизонте ВDg. Содержание органического углерода закономерно снижается вниз по профилю: в максимальном количестве Сорг содержится в горизонте АУ (5,21 %), в горизонте АВg содержится 1,51 %, минимальное содержание в горизонте ВDg (0,99 %). Содержание несиликатного железа в горизонте АУ составляет 8,14 смоль/кг, в горизонте АВg – 9,58 смоль/кг, максимальное содержание выявлено в горизонте ВDg (12,63 смоль/кг). Сумма обменных оснований максимальна в верхнем горизонте АУ – 23,17 смоль*экв/кг, в горизонте АВg содержится 15,79 смоль*экв/кг, минимальное содержание в горизонте ВDg – 14,75 смоль*экв/кг.

Эксперименты по сорбции-десорбции свинца проводили с илистой фракцией (< 1 мкм) выделенные из минеральных горизонтов исследуемой почвы, были изучены в до и после обработки реактивами 10 % H_2O_2 (для удаления органического вещества), Мера и Джексона (для удаления несиликатных соединений железа), а также после последовательной обработки 10 % H_2O_2 + раствор Мера и Джексона (для удаления и органического вещества, и несиликатных соединений железа). Сорбцию Pb(II) проводили из водного раствора $Pb(NO_3)_2$ в диапазоне концентраций 0,0005 – 0,5 ммоль/л. Экстракция Pb(II) проводилась последовательно дистиллированной водой (водорастворимая фракция) и раствором 1М CH_3COONH_4 (обменная фракция).

В илистой фракции, содержащей органическое вещество и несиликатные соединения железа в горизонтах АУ, ВDg на долю водорастворимой формы приходится не более одного процента от количества сорбированного свинца, а обменная фракция составляет 6 – 7 %. В илистой фракции горизонта АВg в обменной форме закрепляется до 9 % сорбированного Pb(II).

Удаление органического вещества 10% H_2O_2 не привело к значительному изменению соотношения водорастворимой и обменной фракций сорбированного Pb(II) во всех изученных горизонтах. В эксперименте с максимальной концентрацией Pb(II) 0,5 ммоль/л после обработки илистой фракции реактивом Мера-Джексона содержание обменной фракции Pb(II) увеличилось до 35 %, 27 % и 11 % в горизонтах АУ, АВg и ВDg соответственно.

Последовательная обработка перекисью водорода и реактивом Мера-Джексона не привела к значительному изменению доли обменной фракции Pb(II) АУ и увеличила ее долю до 34 % и 33 % в горизонтах АВg и ВDg соответственно.

Из полученных результатов можно заключить, что глинистые минералы и несиликатные соединения железа являются основными компонентами, наиболее прочно удерживающими Pb(II) в составе илистой фракции исследуемой почвы.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания МГУ №121040800154-8.

УДК 631.4; 504.55

РОЛЬ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ В СОРБЦИИ Sr ТОРФЯНИСТО-ПОДЗОЛИСТО-ГЛЕЕВАТОЙ ПОЧВОЙ

Толпешта И.И., Семенкова А.С., Изосимова Ю.Г., Ржевская А.В., Скрылева П.И., Власова И.Э., Романчук А.Ю., Пятова М.И., С.Н.Калмыков.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: itolp@soil.msu.ru

Сорбционные позиции, на которых может закрепиться Sr в почве, находятся на поверхности минералов и на функциональных группах органического вещества, на которых Sr закрепляется в форме внешнесферных комплексов в результате эквивалентного обмена с катионами почвенного поглощающего и в форме внутрисферных комплексов, которые образуются за счет ковалентных связей. Реакции ионного обмена, протекающие в основном на планарных поверхностях глинистых минералов и на функциональных группах органического вещества не зависят от pH. Реакции поверхностного комплексообразования с алюминольными и силанольными группировками глинистых минералов, гидроксилами поверхности несиликатных соединений железа и карбоксильными группами органического вещества зависят от pH. В торфянисто-подзолисто-глееватых почвах встречаются все вышеперечисленные виды носителей сорбционных центров. Однако вклад в сорбцию каждого вида центров зависит от условий сорбции и доступности сорбционных центров для химических реакций. Верхняя часть почвенного профиля обогащена органическим веществом (горизонт EL_{ih}). Нижняя часть профиля (горизонты EL_{Vsp}, BD_g) имеет более тяжелый грансостав и более высокую емкость катионного обмена (ЕКО) по сравнению с верхней и обогащена несиликатными соединениями железа и иллитом. Наибольшее количество лабильных силикатов (в основном вермикулита) содержится в илистой фракции горизонта EL_g, а иллитов в горизонтах EL_{Vsp} и BD_g. Почвенные хлориты (HIV) обнаружены в подзолистом горизонте EL_g.

Закономерности сорбции ⁸⁵Sr различными по химическому, минеральному и гранулометрическому составу горизонтами торфянисто-подзолисто-глееватой почвы изучали в условиях лабораторных сорбционных экспериментов при следовых концентрациях Sr (~ 10⁻¹⁴М). Сорбционное равновесие устанавливалось в течение 1 месяца. Для оценки вклада в сорбцию органического вещества, несиликатных соединений железа и глинистых минералов сорбционные эксперименты проводились на почве в целом и после удаления из нее органического вещества и несиликатных соединений железа. Прочность закрепления Sr оценивали по результатам последовательного фракционирования, проведенного по схеме Тессьера, после одного и трех месяцев проведения эксперимента.

Показано, что в исследованном диапазоне концентраций почва в целом, отобранная из горизонтов EL_{ih}, EL_g и EL_{Vsp} сорбирует около 85% Sr от внесенного количества, а почвой из горизонта BD_g сорбируется 71 % (рис.1).

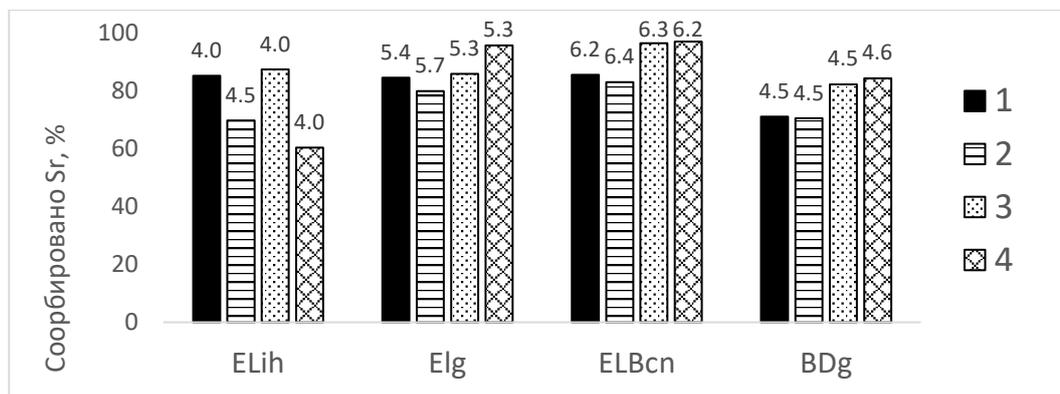


Рис. 1. Сорбция ^{85}Sr почвой в целом (1), после удаления из почвы органического вещества (2), несиликатных соединений Fe (3) и органического вещества и несиликатных соединений Fe (4). Числа над столбцами – величины равновесных значений pH.

Закономерности сорбции Sr почвой, из которой удалялись отдельные компоненты (органическое вещество, несиликатные соединения железа и оба эти компонента) изменились по сравнению с исходной почвой.

На основании анализа зависимости сорбции от pH, содержания и состава илистой фракции, содержания органического вещества, ЕКО и конкурентных взаимодействий с катионами равновесного раствора и изменения сорбции после удаления из почвы отдельных ее компонентов установлено, что глинистые минералы играют существенную роль в сорбции Sr в минеральных горизонтах, а основным механизмом сорбции является ионный обмен. В верхнем органо-минеральном горизонте ELih большой вклад в сорбцию Sr вносит органическое вещество, которое обладает высокой ЕКО, селективно поглощает Sr и в определенной степени блокирует сорбционные центры на глинистых минералах.

Несиликатные соединения железа вносят существенный вклад в сорбцию Sr только в нижних почвенных горизонтах. Учитывая, что равновесные значения pH были ниже pH точки нулевого заряда несиликатных соединений железа, можно предположить, что, покрывая поверхность глин, эти соединения уменьшают сорбцию Sr на глинистых минералах по механизму ионного обмена.

На основании результатов последовательного фракционирования можно заключить, что сорбированный почвой в течение 1 месяца проведения эксперимента Sr в основном входит в состав непрочно закрепленных обменной и отчасти водорастворимой форм. Инкубирование в течение 3-х месяцев не привело к более прочному закреплению Sr, а доля водорастворимой фракции несколько увеличилась, по сравнению более коротким сроком проведения сорбционного эксперимента.

Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды»

УДК 631.4 (571.54)

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВОПОДОБНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РАЗГРУЗКИ КУЧИГЕРСКОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ)

Убугунова В.И.¹, Хитров Н.Б.², Ласточкин Е.И.³, Убугунов В.Л.¹, Насатуева Ц. Н.¹, Аюшина Т.А.¹, Жамбалова А.Д.¹

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия, e-mail: ubugunova57@mail.ru

²Почвенный институт им В.В. Докучаева, Москва, e-mail: khitrovn@gmail.com

³Геологический институт СО РАН им. Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ, [e-mail: gin-buryatia-07@yandex.ru](mailto:gin-buryatia-07@yandex.ru)

Почвы центральной части Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) в пределах северо-западной части Баргузинской котловины формируются при влиянии современной разгрузки в виде гидротермальных вод, газо-, грязе- и нефтепроявлений. Восходящие флюиды приводит к изменению микрорельефа поверхности (кочковато-мелкобугристый, мелкогребенчатый, валиковый), турбированности, засолению почв и формированию в них морфонов, импрегнированных темноцветных горизонтов неясного генезиса. Крайне динамичные условия этой территории препятствуют развитию зрелых почв, оставляя их на уровне примитивных эмбриональных состояний.

Целью настоящего сообщения явилось изучение минералогических и геохимических особенностей почв, формирующихся в зоне непосредственного влияния разгрузки слабоминерализованных термальных вод и газов Кучигерского источника, поступающих из глубоких слоев литосферы на земную поверхность через выводные каналы рыхлых отложений. Из-за процессов сжатия и растяжения земной коры происходит раскрытие или закрытие флюидопроводящих систем. В недавнем прошлом на этом месте закладки разреза происходила разгрузка высокотемпературных терм. В настоящий период грифон закрылся, а пониженный болотный участок в результате, вероятно, газо-гидротермальных разгрузок поднялся в виде вала длиной 51,8 м и шириной от 1,4 до 4,9 м. Поверхность его слабоволнистая, на 60-70% поверхности произрастает разнотравно-полынная растительность, остальную площадь занимают группировки мхов и лишайников. При изучении почв использовались морфологические, физико-химические, минералогические и геохимические методы исследования. Для оценки засоления измерялись показатели рН, аNa, аF и изучались легкорастворимые соли. Элементный состав выполнялся в аккредитованной лаборатории атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой (ICP), анализ минерального состава твердого осадка проводился на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP). Использование комплекса взаимно дополняющих и уточняющих методов позволяет оценить особенности почв, формирующихся в зоне активной современной разгрузки газогидротермальных вод.

Морфологическое строение почвоподобного образования (N 54°52'56,5"; E 111°00'08,9") представлено следующей системой горизонтов: Н (0-10 см) – Н_{imp,int} (10-32 см) – С_{int} (32-89 см) – С_g (89(90)-98(100) см) – С_{imp,g} (89(100) -155 см). Индекс *imp* означает импрегнированный, *int* – интрузивный процессы.

Перегнойный горизонт густо переплетен живыми и полуразложившимися корнями, агрегирован, структура близка к зернистой, сильно пористый, очень рыхлый, имеет нейтральную реакцию среды, сильно засолен. В этом горизонте отмечаются высокие показатели аF⁻, аCl⁻, Na⁺. На глубине 10-32 см отмечается пропитка горизонта черным «маслянистым» веществом. Реакция среды близка к нейтральной, отмечено засоление с переменным по глубине химизмом: сульфатно-хлоридным (10-20 см) и содово-хлоридным (20-89 см). С 32 см и глубже (98 см) выражены многочисленные разводы (интрузии), связанные, вероятно, с флюидной разгрузкой. На этой глубине фиксируется сильный запах сероводорода. В нижней части (со 105 см) выступает теплая вода, глубже отмечается резкая смена гранулометрического состава, увеличение рН до сильнощелочных значений, повышение С_{орг.}, исчезает засоление, показатели аF⁻, аCl⁻ достаточно высокие, аNa⁺ – низкие (5,4-6,6 ммоль/л), резко увеличивается (в 7 раз по сравнению со слоем 32-50 см) содержание серы.

В изученных слаборазвитых почвах отмечается накопление в перегнойной толще вольфрама (коэффициент концентрации к кларку земной коры 3,5-12,7), серы (1,6-2,6) и молибдена (2,3-

2,4), для остальных элементов характерно рассеяние. В нижней части профиля выше кларка содержится барий (2,6), стронций (1,9), сера (2,4-7,0) и молибден (3,4), близкие показатели отмечаются у лития и натрия. Повышенное содержание этих элементов связано, прежде всего, с поступающими термальными слабоминерализованными водами.

Минералогический состав верхних (Н, Н_{imp,int}) и нижних (С_{imp,g}) горизонтов различен. Ассоциация минералов в 10-20 см слое представлена кварцем, пироксеном, акцессорными минералами (магнетит, циркон). Встречаются оксиды, состоящие из SiO₂, Al₂O₃, FeO, SO₃, F, либо SiO₂, Al₂O₃, FeO, ZnO с очень высоким содержанием Ce₂O₃ (20,16%), La₂O₃ (25,98) и Cl (3,05 %). Доминирующее положение среди минералов занимает кварц (85-90 %), представленный игольчатыми, удлинёнными многообразными формами, неправильной формы сросшимися кристаллами и округлыми сферами. Преобладают среди них не характерные для кварца игольчатые и трубчатые кристаллы. Образование их может иметь как гидротермальный генезис, так и биогенный (обилие кремнеземных скелетов водорослей и микроорганизмов). Хорошо сформированные кристаллы кварца в горизонте Н_{imp,int} встречаются редко. Это связано с незначительным содержанием в этом слое продуктов разрушения кислых пород. Поступление в болотные массивы хлоридно-сульфатно-фторидно-гидрокарбонатных натриевых термальных вод благоприятствует процессам современного минералообразования, которое проявляется в образовании оксидов и аморфных форм кремнезема.

Ассоциация минералов нижней части профиля (90-105 см) более разнообразная: кварц, пирит, пирротин, фенакит, акцессорные минералы (ильменит, циркон). Оксиды в этом слое имеют различный состав: SiO₂ и Al₂O₃; SiO₂, Al₂O₃ и SO₃; SiO₂, FeO и SO₃; SiO₂, CaO и SO₃; только SiO₂. Наряду с минералами кварца высока доля сульфидных минералов (пирит, пирротин, оксиды). Пироксен, магнетит, ильменит, циркон являются высокотемпературными минералами и могли быть привнесены из разрушенных пород. Пирит и пирротин не характерны для преобладающих на этой территории горных пород гранодиоритовой группы. Пирит обычно встречается в осадочных и метаморфических породах, а пирротин в основных магматических породах и в контактных метаморфических зонах. В изученных почвах эти сульфидные минералы могут иметь только гидротермальный генезис. Обнаружен довольно редкий минерал фенакит (силикат бериллия), который обычно образуется в гранитных пегматитах, вблизи гидротермальных источников.

Почвы в зоне непосредственного влияния Кучигерских гидротерм формируются в динамических условиях, которые препятствуют развитию зрелых почв и способствуют сохранению примитивных эмбриональных состояний. Влияние эндогенеза проявляется в развитии нетипичного для лесной зоны процесса засоления почв, обогащения их серой, вольфрамом. Особенности минералогического состава почв, формирующихся в области разгрузки термальных вод, связаны с присутствием минералов гидротермального происхождения: пирротина, пирита, фенакита, а также преобладанием в ансамбле минералов различных форм кварца.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта Института общей и экспериментальной биологии СО РАН FWSM-2021-0004 № 121030100228-4.

(У) КОМИССИЯ ПО ПЕДОМЕТРИКЕ

УДК 631.4

МУЛЬТИВРЕМЕННАЯ ЛИНИЯ ПОЧВЫ И МЕТОДЫ УСРЕДНЕНИЯ ДАННЫХ АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Борщев Д.Г., Рухович Д.И., Долинина Е.А.

ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Москва, e-mail: soilmap@yandex.ru

Агрохимическое обследование в подавляющем большинстве случаев ведется при отборе среднего образца на поле (теоретически методом конверта) или по регулярной (псевдoreгулярной) сети отбора смешанных проб. По инструкции агрохимического обследования, отбор смешанных проб должен вестись с учетом почвенных разностей (контуров крупномасштабных почвенных карт). Опыт заказа агрохимического обследования или получения архивных данных агрохимического обследования показал, что учета почвенных разностей не проводилось.

Смешанная проба на сельскохозяйственное поле понятна: при таком отборе образцов можно получить лишь усредненные агрохимические показатели на все поле. Такие результаты можно получить при всех других методах опробования простым усреднением уже полученных результатов. Большой интерес представляет псевдoreгулярное обследование, так как при всей бюрократической сложности получения его результатов (агрохимическая служба как правило отказывается предоставлять результаты в таком виде), это обследование реально ведется в течение более полувека на все пахотных угодьях России.

"Псевдо" - означает, что проба берётся с 20 га (иногда 10, 15 или 25 га). И эти 20 га на агрохимической карте-схеме представляют собой прямоугольные фрагменты поля, хотя смешанный образец отбирается 20-ю уколами при линейном проходе через прямоугольник, а не конвертом. На поле в 200 га таким образом берется 10 проб, что может отражать внутриполевую неоднородность, на основе которой можно проводить дифференцированное воздействие (элементы точного земледелия), или проводить оценку пестроты почвенного покрова.

Теоретически, если считать, что максимальная достоверность смешанной пробы соответствует геометрическому центру прямоугольника, можно построить агрохимические картограммы методами кригинга или обратно взвешенных расстояний.

Альтернативу существующим методам агрохимической съемки составляют методы точечного нерегулярного обследования с той же плотностью взятия образцов. Нерегулярная сеть означает предварительную расстановку точек согласно заранее выявленной неоднородности почвенно-земельного покрова. В дальнейшем строятся агрохимические картограммы на основе триангуляции, кригинга, обратно взвешенных расстояний и т.д. Наиболее полной альтернативой является установление функциональных связей между характеристиками данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и агрохимическими показателями. Например, содержание гумуса и рН являются генетическими характеристиками почв и могут иметь высокую корреляцию со спектральными характеристиками.

Методика построения мультимедийных линий почвы (МЛП) для каждого пикселя ДДЗ, позволяет выявить устойчивую внутриполевую среднесрочную спектральную неоднородность открытой поверхности почвы (ОПП). Карта одного из коэффициентов МЛП (коэффициента "С") позволяет различать почвенные разности, осуществлять планирование полевого агрохимического обследования на основе нерегулярной сети и устанавливать функциональные связи между отдельными агрохимическими показателями и мультимедийными спектральными характеристиками.

Как показывает опыт, диапазон варьирования агрохимических показателей существенно расширяется при организации агрохимического обследования именно на основе нерегулярных сетей отбора образцов.

УДК 631.46

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДНЕМНОГОЛЕТНЕЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ПОЧВЕННОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФНАЦ)

Браулов П.А., Шилов П.М.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, pavelbraulov@yandex.ru

Актуальность. Почва является важнейшим природным объектом, обеспечивающим экологическое благополучие экосистем и продовольственную безопасность человека. В настоящее время почвы подвержены эрозии, деградации, загрязнению. С другой стороны, возрастает необходимость в рациональном использовании почв.

Современные цифровые подходы к почвоведению, в частности, цифровая почвенная картография и использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяют оперировать большими объёмами данных для изучения почв. При этом, данные ДЗЗ несут о себе информацию о наземном покрове, в том числе и о почве. Это характерно для сельскохозяйственных угодий в силу отсутствия постоянного растительного покрова. Таким образом, информация о почве, полученная по дистанционным данным, может быть использована для почвенного картографирования. Для получения непрерывной обобщённой картины необходимо интегрировать информацию из многолетнего массива спутниковых снимков, вычлняя только ту, которая относится к почве и её свойствам. Для этого применяется техника создания многоканального композита.

Цель. Создать специальные карты отдельных почвенных свойств на основе поверхности почвы за длительный период наблюдений.

Методы. Работа проводилась с помощью Google Earth Engine API в среде Python.

Использовались коллекции снимков Landsat 8 за период 2013 – 2024 годов второго уровня обработки (отражательная способность поверхности). Значения каналов пересчитывались в значения отражательной способности. Проводилась фильтрация по облачности снимков, брались снимки с общей облачностью менее 75%. Каждый пиксель фильтровался по встроенной маске оценки качества, при наличии посторонних объектов (облака, тени облаков и т.д.) пиксель игнорировался. Далее рассчитывался спектральный индекс открытой поверхности почвы: BSI. Снимки на отдельные поля оценивались вручную на предмет наличия или отсутствия открытой поверхности почвы. По результатам разметки были выбраны пороги по индексам, по которым фильтровались пиксели. Для создания композита открытой поверхности почвы бралось медианное значение по каждому пикселю, за исключением тех, которые были отфильтрованы по той или иной причине. На основе полученного композита и данных полевого обследования проводилось моделирование почвенно-ландшафтных связей и составлялись специальные почвенные карты методами линейной регрессии и случайного леса.

Объекты. Исследование проводилось на территории сельскохозяйственных полей головной организации Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра. Местоположение центра – Российская Федерация, Ставропольский край, Шпаковский район(округ). Климат территории умеренно-тёплый, умеренно-континентальный. Коэффициент увлажнения близок к 1. Территория расположена в пределах Ставропольской возвышенности.

Геологическое строение представлено лёссами, подстилаемыми плотными породами (известняки, песчаники). Территория относится к зоне обыкновенных и южных чернозёмов степи согласно почвенно-экологическому районированию.

Результаты. Экспериментально был определен пороги по спектральному индексу открытой поверхности почвы ($BSI = 0.15$); пиксели, со значениями выше, принимались за открытую

поверхность почвы (Рисунок 1). Спектральные каналы полученного композита показали свою применимость при цифровом почвенном картографировании мощности гумусового горизонта и глубины вскипания почв. Данные по среднемноголетней отражательной способности почв, полученные с помощью отсечения по порогам спектральных индексов, в перспективе могут быть использованы для задач как общего, так и специального почвенного картографирования, в частности таких почвенных свойств, как гранулометрический состав, содержание органического вещества, содержание отдельных групп минералов, определение влажности почвы.

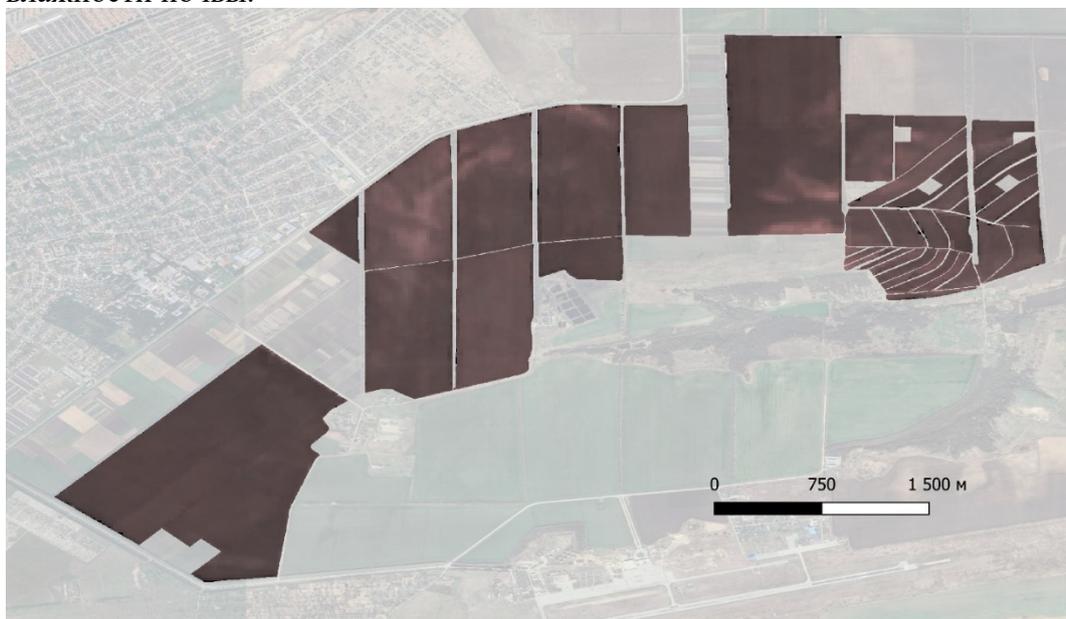


Рисунок 5. Композит отражательной способности открытой поверхности почвы в "естественных цветах" (яркость увеличена).

УДК 631.452

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОЧВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ УРОЖАЙНОСТИ

Гасанов М.Э., Петровская А.Ю., Никитин А.А.

Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия, mikhail.gasanov@skoltech.ru

Имитационные модели, такие как WOFOST, MONICA, DSSAT и другие, являются широко используемыми инструментами для оценки урожайности сельскохозяйственных культур, моделирования динамики питательных элементов в почве и круговорота азота и углерода. Имитационные модели сельскохозяйственных культур представляют собой численные математические программы, которые моделируют рост, развитие и урожайность культур на основе различных входных параметров, таких как климат, почвенные условия и агротехнологии. Качество прогнозов таких моделей и их достоверность в значительной степени зависят от входных данных, особенно от переменных, связанных с почвенными условиями.

Почвенные условия являются одними из определяющих факторов для роста и развития сельскохозяйственных культур. Большинство имитационных моделей описывают следующие почвенные процессы в своей архитектуре: динамика органического вещества, уровень питательных веществ и процессы, связанные с тепло- и влагообменом.

Неопределенность в исходных почвенных данных может быть критична для получения реалистичных прогнозов.

Анализ чувствительности дает возможность оценить влияние входных параметров на выходные данные модели, что помогает улучшить параметризацию и калибровку модели. Одним из основных подходов к оценке чувствительности является оценка индексов

чувствительности первого и второго порядков по методологии И.М. Соболя, также называемые индексами Соболя. Данный индекс является количественным показателем вклада отдельных входных переменных в общую дисперсию выходных данных модели, например, урожайности. С помощью индекса можно определить, какие факторы оказывают наиболее существенное влияние на поведение модели. На основе ранжирования параметров с помощью индекса можно принять решение о выборе параметров для калибровки и оптимизации модели.

Зачастую анализ чувствительности имитационных моделей проводится только для блока параметров, связанных с фенологией культуры, в то время как почвенным характеристикам уделяется меньше внимания. В данной работе мы провели анализ чувствительности имитационных моделей WOFOST, DSSAT и MONICA по отношению к входным почвенным параметрам. Для проведения расчетов были выбраны характеристики нескольких почвенных разностей. Для каждой почвенной разности из базы данных Единого государственного реестра почвенных ресурсов России были получены характерные значения для следующих параметров: содержание органического вещества, содержание глинистой фракции, содержание суглинистой фракции и плотность почвы. Анализ чувствительности проводили по отношению к урожайности культуры и изменению запасов органического вещества почвы.

Для проведения анализа чувствительности потребовалось значительное количество расчетов имитационных моделей с различными почвенными параметрами. Также для работы с моделями DSSAT и WOFOST требовалась рассчитывать при каждом запуске моделей гидрофизические характеристики с учетом новых почвенных требований. Для решения этой задачи были использованы педотрансферные функции, реализованные в модели Rosetta. Данные погодной истории для выбранных точек моделирования были получены из системы погодного реанализа NASA POWER с пространственным разрешением 0.5 градуса и суточным разрешением по времени.

В качестве результатов был оценен индекс Соболя первого порядка и общий индекс Соболя для почвенных параметров исследуемых почвенных разностей. Полученные результаты демонстрируют важность показателя плотности почвы для всех моделей. Для модели MONICA был показан значительный вклад совместного влияния изменения содержания органического вещества почвы и плотности, в то время как по отдельности эти параметры вносили значительно меньший вклад в изменчивость результатов моделирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 23-21-00336, <https://rscf.ru/project/23-21-00336/>

УДК 631.4: 631.417.1: 631.95:631.17

ДОСТИЖИМОСТЬ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦЕЛИ «4 ПРОМИЛЛЕ» ДЛЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Горбачева А.Ю., Добровольская В.А., Мешалкина Ю.Л.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, buyvolova@gmail.com

В 2015 году в ходе работы Рамочной конференции ООН по изменению климата сторонами-участниками было подписано Парижское соглашение. В нем были заявлены совместные усилия по сдерживанию роста приземной температуры воздуха путем сокращения выбросов парниковых газов.

Одной из мер смягчения последствий изменения климата является биологическая секвестрация углерода. Она предполагает поглощение углекислого газа наземными экосистемами и его долговременное хранение. В контексте почвенной секвестрации – это хранение заключается в переходе углерода из растительных остатков в стабилизированное органическое вещество почв. Стабилизация может происходить различными путями, однако

наиболее эффективным считается создание минерально-ассоциированной фракции органического вещества.

Было подсчитано, что годовой рост концентрации углекислого газа в атмосфере составляет около 4,3 Гт С в год. Увеличение запаса почвенного углерода на 4 промилле в год может скомпенсировать эти объемы выбросов углекислого газа. На этом основана глобальная инициатива «4 промилле», предложенная в 2019 году. Учитывая запасы углерода в почвах Российской Федерации, а также годовой выброс углекислого газа антропогенного происхождения в нашей стране, то глобальную цель было предложено трансформировать в национальную, для достижения которой будет достаточно секвестрировать 2 промилле почвенного углерода в год.

Усилия мирового сообщества по оценке потенциала секвестрации почвами сельхозугодий сосредоточены в рамках работы проекта ФАО ООН «GSOCseq (The Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map)», который начал свою работу в 2020 году. Прогноз относительно темпов секвестрации углерода строиться согласно унифицированной методологии в виде набора карт, в которых содержится информация о скоростях секвестрации углерода (тС/га в год) верхним 30-сантиметровым слоем почв с разрешением 1 км. Данная работа выполнена в рамках указанной методологии.

Расчеты производились путем моделирования на основе общедоступных климатических, почвенных данных, информации о типах землепользования, спутниковых снимках.

Моделирование проводилось на основе Ротамстедской модели динамики углерода RothC по четырем сценариям. Сценарий неизменного хозяйствования (BAU) являлся базовым, при нем подразумевалось сохранение текущих практик землепользования. Три сценария рационального использования почвенных ресурсов (SSM1, SSM2, SSM33) моделировали увеличение поступления углерода в почву на 5, 10 и 20%, соответственно.

Промежуточным результатом моделирования являлась карта запасов углерода на 2020 год. Доли в 4 и в 2 промилле от этого запаса являются целевыми для достижения соответствующих глобальной и национальной целей.

Целью данной работы было применить методику ФАО на территории Республики Татарстан и на этой основе оценить достижим ли показатель «4 промилле» или «2 промилле» для пахотных почв Республики. Объектом исследования являлись почвы, разделенные согласно административно-территориальному и почвенно-экологическому районированию.

Республика Татарстан из 55 административных объектов и располагается на территории двух почвенно-географических зон: зоны оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв и зоны серых лесных почв лиственных лесов.

Результаты работы показали, что баланс углерода пахотных почв Республики Татарстан в целом положительный, что говорит о вкладе данного региона в секвестрацию углерода в масштабе всей страны и составляет в среднем 71 кг С/га в год. Скорость секвестрации углерода пахотными почвами административных субъектов, входящих в состав Республики Татарстан, также всегда положительная и достигает от 54 до 109 кг С/га в год даже при сценарии неизменного хозяйствования. Подтверждена тенденция увеличения поглощения углерода в ряду черноземы – серые лесные почвы.

Можно констатировать также эффективность применения углеродсберегающих практик на территории Республики Татарстан. При поступлении дополнительных объемов органического вещества в почву скорость секвестрации для всех территориальных единиц показывает увеличение. В среднем она возрастает 107,6 кг С/га в год, 140,6 кг С/га в год и 204,8 кг С/га в год для сценариев SSM1, SSM2 и SSM3, соответственно.

А

Б

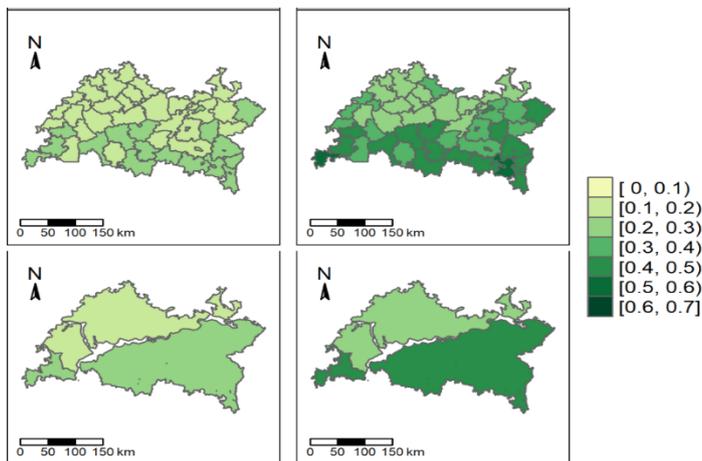


Рисунок 1. Целевые значения национальной цели «2 промилле» для Республики Татарстан, т С/га в год. А – по муниципальным образованиям, Б – по почвенно-экологическим зонам.

В работе были рассчитаны целевые значения 4 и 2 промилле для каждой территориальной единицы как соответствующая доля от запаса углерода в почве на 2020 год. В среднем они составили, соответственно, 371,6 кг С/га в год и 185,8 кг С/га в год. В результате оценки достижимости этих показателей оказалось, что ни одна территория не способна секвестрировать достаточно углерода, чтобы удовлетворить цели «4 промилле» (рисунок 1). Сравнение этих значений с полученными скоростями секвестрации углерода показали возможность достижения национальной цели «2 промилле» только при использовании сценария углеродсберегающих технологий самой высокой интенсивности (SSM3). Однако в разрезе административно-территориального деления такой результат не может быть получен ни для одного субъекта.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.4

СРАВНЕНИЕ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТОВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ УОПЭЦ «ЧАШНИКОВО»

Жулидова Д.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: Julidova-dasha@yandex.ru

Цвет почвы — это важная морфологическая характеристика горизонта, которая может служить индикатором почвообразующих процессов и свидетельством условий формирования почв. Поэтому во многих системах классификации почв цвет используется в качестве основного диагностического признака. Так же, окраска может многое сказать о минералогическом и органическом составе почвы.

У самой распространенной среди почвоведов универсальной цветовой шкалы Манселла есть серьезный недостаток – цилиндрические координаты, что затрудняет их использование для статистических расчетов. В этом отношении, гораздо более удобна система CIE L*a*b*, представляющая собой универсальное цветовое пространство в декартовых координатах. Эта модель была разработана в 1976 году, и признана международным стандартом в области почвоведения. Ось абсцисс характеризует степень красноты (+a*) и зелености (-a*) в

диапазоне от -100 до +100, ось ординат – степень желтизны и синевы (+b и -b соответственно) от -100 до +100. Третья ось, перпендикулярная плоскости a^*b^* , определяет светлоту L^* от 0 до 100. Точка в начале координат – серый цвет. Достоинством этой модели является независимость хроматических координат от светлоты (L^*): при ее изменении, цветовые координаты a^* и b^* будут оставаться неизменными. С помощью системы CIE $L^*a^*b^*$ можно численно устанавливать связь между цветом почвы и содержанием в ней пигментирующих веществ.

Цель работы состояла в том, чтобы сравнить цветовые характеристики горизонтов дерново-подзолистых почв УОПЭЦ «Чашниково» (Солнечногорский р-н, Московская область) в системе CIE $L^*a^*b^*$ и выяснить наблюдается ли связь этих характеристик с содержанием органического углерода.

Исследуемые участки располагались на общей территории около 4 км², и относились к различным типам землепользования. Так, участки 1 и 3 находились в берёзово-еловом лесу, участки 2 и 6 на пашне, участок 4 на суходольном лугу, участок 7 представляет собой косимый перелог. Различались также геоморфологические позиции и гранулометрический состав материнских пород. На участках встречались дерново-подзолистые почвы, освоенные и естественные, с разной степенью оподзоливания и языковатости. Каждый участок представлял собой территорию 90*90 или 45*45 метров, на которой закладывался полнопрофильный разрез, глубиной 110 см и две прикопки по 60 см, на расстоянии 15-30 метров друг от друга.

Данные цветовых характеристик горизонтов были получены с помощью портативного спектрофотометра X-Rite i1pro. Спектр видимого диапазона (от 380 до 730 нм.) был пересчитан в цветовое пространство CIE XYZ. С помощью прямого преобразования из пространства CIE XYZ были получены цветовые координаты образцов в пространстве CIE $L^*a^*b^*$. Содержание органического углерода было получено по методу Тюрина. Всего в рамках исследования был измерен цвет 102 образцов горизонтов. Каждое измерение проводилось в трех повторностях, с последующим расчетом среднего. Наиболее темными были органоминеральные горизонты ($40 < L < 50$), что хорошо коррелирует с содержанием гумуса в них ($R^2 = 0,73$, RMSE 0,49). В группу с наибольшей краснотой и желтизной попали горизонты В и ВС ($a^* > 7$ и $b^* > 19$), что связано с особенностью материнской породы изучаемой территории представленных в основном моренными и флювиогляциальными отложениями. Переходные горизонты (A1A2, A2B) плохо диагностируются по цветовым характеристикам из-за генетических особенностей, так как они наследуют свойства выше и ниже лежащих горизонтов. Горизонты почв суходольного луга характеризуются самыми низкими значениями светлоты, что может быть связано с повышенным содержанием гумуса в их профиле.

УДК 631.4

СОЗДАНИЕ КАРТЫ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА ДЛЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ АГРОХИМСЛУЖБЫ

Коноплина Л.Ю., Мешалкина Ю.Л., Голозубов О.М.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, lidia.konoplina@gmail.com

Почвенное органическое вещество — один из факторов получения высоких урожаев на обрабатываемых землях. Мониторинг динамики содержания гумуса в почве имеют большое практическое значение для сельского хозяйства. Для картографирования содержания гумуса широко используются методы цифровой почвенной картографии, которые позволяют снизить расходы на полевые исследования, а также автоматизировать создание и обновление карт. Цель настоящей работы заключалась в том, чтобы создать картографическую модель для интерполяции значений содержания гумуса в верхнем горизонте пахотных почв Брянской области.

Для моделирования были использованы данные по содержанию гумуса в обрабатываемых землях Брянской области, полученные Агрохимслужбой за 2017-2022 гг. В структуре сельскохозяйственных угодий площадь пашни составляет 1 178 000 га. Площадь обследования Агрохимслужбой за указанный период составила 1 072 836 га. В качестве исходных данных были выбраны центроиды полей, с которых отбирались смешанные образцы. В выборке из 42 032 точек обследования среднее значение содержания гумуса составило 2.0 %, медиана — 1.67 %, стандартное отклонение — 1.68 %. Значения гумуса варьировали от 0 % до 75.5 %. Разрешение карты составило 250 метров.

Работа выполнялась в рамках проекта ФАО по созданию глобальной карты питательных веществ (GSNmap), предложенного в 2022 г. Для создания модели было использовано 70 ковариат, загруженных Глобальным почвенным партнерством на платформу Google Earth Engine в рамках проекта GSNmap. Они включают в себя данные по климату и геоморфологическим характеристикам, взятые из открытых баз данных (CHELSA, OpenLandMap), а также информацию, полученную со спутника MODIS. Для улучшения модели к описанному набору нами были добавлены 4 ковариаты, характеризующие тип почвы, гранулометрический состав и наличие торфяных и высокогумусных почв. Для определения границ почвенных контуров была использована почвенная карта Брянской области масштаба 1:1 500 000, 1976 г. и почвенная карта РСФСР Фридланда масштаба 1:2 500 000, 1988 г. Разделение почв по гранулометрическому составу проводилось с использованием карты Фридланда. Модель была построена в программной среде R версии 4.3.1. Выбор наиболее значимых ковариат проводился с помощью пакета Boruta. Обучение модели — с помощью пакета caret с использованием метода квантильной регрессии случайного леса, реализованного в пакете ranger.

По результатам алгоритма Boruta было установлено, что среди всех ковариат наиболее значимой оказалась та, которая отделяла торфяные и высокогумусные почвы от всех остальных. Среди двух ковариат, характеризующих тип почвы, наиболее значимой была ковариата, основанная на данных карты Фридланда. Модель предсказала значения содержания гумуса в следующем диапазоне: от 0.44 % до 40.66 %, со средним значением 2.07 % и стандартным отклонением 1.45 %. С наименьшей точностью были предсказаны пиксели с контурами торфяных почв, где содержание гумуса было максимальным. Высокая корреляция между предсказанными и наблюдаемыми значениями ($R = 0.97$) подтвердила хорошее качество моделирования. Значение среднеквадратичной ошибки, характеризующее величину отклонения предсказанных значений от наблюдаемых, было небольшим ($RMSE = 0.4$ %), что также говорит о высокой предсказательной способности модели. Коэффициент детерминации ($R^2 = 0.95$) указывает на то, что 95 % дисперсии переменной было объяснено моделью. По результатам оценки точности сделан вывод, что модель, построенная на основе методики ФАО, хорошо объяснила изменчивость в широком диапазоне значений и адекватно описала фактические данные, что свидетельствует о высоком качестве модели и ее способности точно прогнозировать содержание гумуса. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.421:631.416.9

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ В ПРЕДЕЛАХ ЛОКАЛЬНОЙ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
Липатов Д.Н.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: denis_lipatov@mail.ru

Загрязнение почв токсикантами, относящимися к различными химическими группа, может приводить к их аддитивному и мультипликативному воздействию на живые организмы. В условиях городской среды одновременно функционируют многочисленные источники загрязнения: промышленные предприятия, объекты жилищно-коммунальной сферы, транспорт, поэтому спектр загрязняющих веществ даже в отдельных урбоэкосистемах весьма широк. Важными задачами экологического мониторинга городских почв, являются оценки пространственного распределения токсикантов в различных урболандшафтах, выявление приоритетных загрязнителей, определение взаимосвязей между ними. Такие задачи могут решаться с использованием методов классической статистики и геостатистики.

Объект исследования: загрязненная городская территория вокруг Электростальского завода тяжелого машиностроения (ЭЗТМ) в Московской области. На 18 контрольных площадках (5 x 5 метров), заложенных на различном расстоянии от завода в основных функциональных зонах города, проведен почвенный пробоотбор из слоя 0–10 см цилиндрическим пробоотборником в двух повторностях. Схема заложения площадок объединяла три радиуса по удаленности от завода: ближний (0–100 м), средний (100–250 м) и периферийный (250–750 м), и три функциональные зоны города: промышленную, транспортную и селитебную. Кроме того, в ходе полевого обследования для верхнего горизонта почв отмечались признаки проведенных земляных или рекультивационных работ. В лабораторных условиях после высушивания и гомогенизации во всех почвенных пробах определялось содержание подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Pb в 1М ацетатно-аммонийной вытяжке (рН=4.8) с последующим измерением на оптико-эмиссионном спектрометре ICP-OES 5110. Содержание суммы нефтепродуктов (НП) во всех почвенных пробах измерялось в соответствии с методикой ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 на концентратомере КН-2м.

Статистический анализ данных начинали с проверки закона распределения на основе критерия Уилка-Шапиро для исходных и прологарифмированных значений. С целью оценки влияния расстояния от завода, функциональной зоны города и нарушений верхнего горизонта почв на варьирование исследованных показателей проводили множественное сравнение средних значений по всем группам на основе наименьшей существенной разности, вычисленной с помощью критерия Дункана. Для выявления взаимосвязей между содержанием подвижных форм отдельных ТМ и суммой НП рассчитывали коэффициенты корреляции Спирмена, а также проводили анализ данных методом главных компонент. На территории города преобладали урбистратифицированные техногенные почвы, *Urbic Technosols* по международной классификации WRB. Верхние исследованные горизонты урбик UR1tch, UR1r были техногенно-нарушенными или насыпными.

Пространственные распределения содержания подвижных форм Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Pb и суммы нефтепродуктов в слое 0–10 см исследованных почв не удовлетворяли нормальному закону, а характеризовались логнормальностью с положительными коэффициентами асимметрии и эксцесса. Высокие коэффициенты вариации (50–435 %) и логнормальный закон распределения, зафиксированные для содержания ТМ и НП, характерны для почв загрязненных территорий.

На исследованной территории вокруг ЭЗТМ среднее содержание подвижных форм Pb и Cu в верхнем горизонте почв превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 2,8–3,4 раз. Такое содержание Pb и Cu соответствует низкому уровню загрязнения, которое, по-видимому, сформировано в результате выбросов плавильных и металлообрабатывающих цехов этого предприятия. Средние значения содержания подвижных форм Zn, Cr, Ni в верхнем горизонте исследованных почв не превышали ПДК, но максимальные значения были выше этих контрольных уровней, соответствуя допустимому уровню загрязнения. Среднее содержание суммы нефтепродуктов в верхних горизонтах почв было ниже уровня ориентировочно допустимой концентрации (ОДК), равного 1000 мг/кг, однако максимальное значение выше него в 1,9 раза. Результаты показывают, что в исследованных

урбистратифицированных почвах с ростом превышения ПДК (ОДК) увеличиваются также и коэффициенты вариации в следующем ряду загрязнителей: $Co < Ni < НП < Cr < Zn < Pb < Cu$. Множественное сравнение средних показало, что в промышленной зоне ближнего радиуса от ЭЗТМ наблюдается статистически достоверное увеличение содержания подвижных форм Pb и Cu, указывающее на то, что именно это предприятие является источником загрязнения. Загрязнение тяжелыми металлами сформировалось в результате выбросов ЭЗТМ в течение 30–50 лет, а также вследствие выщелачивания промышленных, строительных и бытовых отходов, накопленных в прилежащих к заводу урбоэкосистемах.

На отдельных участках транспортной функциональной зоны города отмечено статистически значимое ($p=0.05$) увеличение содержания подвижных форм Ni, Cr и суммы нефтепродуктов в верхнем слое 0–10 см почв. Такое локальное загрязнение почв на придорожных участках связано с проливами горюче-смазочных материалов и других технических жидкостей. Еще одним фактором загрязнения в этих урбоэкосистемах является накопление продуктов истирания протекторов шин и самих дорожных покрытий.

Множественное сравнение средних показало, что в верхнем горизонте почв, нарушенных в результате проведенных земляных и рекультивационных работ, отмечалось снижение содержания поллютантов. Вследствие земляных работ, проводившихся строительными и коммунальными службами города Электросталь, в ряде урбоэкосистем происходило снятие загрязненного слоя или его перемешивание с насыпными и нижележащими слоями, которое привело к снижению содержания ТМ и НП в техногенно нарушенных трансформированных почвах. Такие природно-антропогенные процессы очистки почв отмечались не только на промышленной территории вблизи ЭЗТМ, но и на отдельных участках транспортной и селитебной зон. Напротив, на участках с ненарушенными почвами, сохранившимися на пустырях и в парках, характерна длительная аккумуляция тяжелых металлов и нефтепродуктов в поверхностном слое.

Результаты корреляционного анализа показали пространственную сопряженность распределений некоторых тяжелых металлов и нефтепродуктов в верхнем горизонте исследованных городских почв. Статистически значимые ($p=0.05$) положительные коэффициенты корреляции отмечены в следующих парах тяжелых металлов: Cr – Ni, Pb, Zn; Cu – Pb, Zn, Cr, Ni; Ni – Cr, Zn; Pb – Cu, Zn, Cr; Zn – Cu, Pb, Ni. Для содержания подвижных форм Co не выявлено значимых коэффициентов корреляции. Содержание нефтепродуктов в верхнем 0–10 см слое городских почв статистически значимо ($p=0.05$) коррелировало с содержанием подвижных форм Zn, Pb, Cu. Выявленные прямые корреляционные связи между содержанием подвижных форм ТМ и суммой НП свидетельствовали о пространственной сопряженности пятен полиметаллического и нефтяного загрязнения. У них могли быть одни и те же источники загрязнения: выбросы ЭЗТМ, а также выщелачивание из промышленных отходов в урбоэкосистемах. В городских почвах нередко формируются геохимические барьеры, приуроченные к мезо- и микропонижениям, в которых происходит аккумуляция различных загрязняющих веществ. Кроме того, проводившиеся земляные и рекультивационные работы в промышленной зоне ЭЗТМ приводили к локальной очистке от всех, накопленных на поверхности, токсикантов.

Результаты, полученные методом главных компонент, показали, что пространственное распределение ТМ и НП в исследованных почвах сформировано под влиянием двух основных факторов. Первая главная компонента объединяет варьирование большинства ТМ и суммы НП, и, по-видимому, связана с антропогенными процессами. Наибольшая факторная нагрузка второй компоненты приходится на содержание Co и Ni, для которых не выявлено превышения ПДК и отмечены наименьшие коэффициенты вариации в верхнем 0–10 см почвы.

Статистический анализ загрязнения необходим для оценки пространственного распределения токсикантов в почвах и разработки оптимальных проектов рекультивации таких территорий.

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПРОФИЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕНЕТРАЦИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Манакова О.И., Сорокин А.С., Мешалкина Ю.Л.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, oliamanakova@yandex.ru

При расчетах запасов углерода исследователи часто сталкиваются с нехваткой данных о плотности почв. При этом, вклад плотности в неопределённость получаемых результатов может быть существенным. Однако, методика определения плотности почв достаточно трудоёмка, что осложняет получение этой величины.

В этой работе проведена попытка моделирования плотности почвы по результатам определения сопротивления пенетрации и некоторым физико-химическим свойствам почв: содержание органического углерода, влажность и гранулометрический состав.

Работы проводились на территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково», на дерново- и агродерново-подзолистых почвах. Участки располагались на общей территории около 4 км², и относились к различным типам землепользования. Так, участки 1 и 3 находились в берёзово-еловом лесу, участки 2 и 6 на пашне, участок 4 на суходольном лугу, участок 7 представляет собой косимый перелог. Различались также геоморфологические позиции и гранулометрический состав материнских пород.

Каждый участок представлял собой территорию 90*90 или 45*45 метров, на которой закладывался полнопрофильный разрез, глубиной 110 см и две прикопки по 60 см, на расстоянии 15-30 метров друг от друга. Для каждого профиля проводился отбор проб для определения плотности на глубинах 0-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70, 70-90 и 90-110 см в двойной повторности. В этих же образцах была определена полевая влажность, гранулометрический состав с использованием дифракционного лазерного анализатора и содержание органического углерода по методу Тюрина. Сопротивление пенетрации определялось в 10-ти повторностях на приборе пенетрологгер Royal Eijkelpamp до глубины 80 см, результаты измерений представляли собой значения давления, выраженные Мпа.

В данной работе были исследованы несколько моделей: регрессионная модель с использованием данных пенетрации (I), регрессионная модель с использованием всех значимых параметров (II) и оптимальные модели (III, IV, V) для малого набора характеристик. Результаты представлены таблице 1. Расчет проводился в программе Statistica 10 фирмы StatSoft.

Таблица 1. Сравнение моделей.

Модель	Предикторы	R	R ²	adjR ²	RMSE
I	Сопротивление пенетрации (давление, МПа)	0.73	0.54	0.53	0.16
II	Сопротивление пенетрации (давление, МПа), содержание углерода (%), влажность (%), гранулометрический состав фракции 0.5 нм (%)	0.95	0.91	0.89	0.07
III	Сопротивление пенетрации (давление, МПа), глубина (см)	0.87	0.76	0.75	0.12
IV	Сопротивление пенетрации (давление, МПа), содержание углерода (%)	0.92	0.85	0.84	0.09
V	Сопротивление пенетрации (давление, МПа), глубина (см), содержание углерода (%)	0.93	0.87	0.86	0.09

Как мы видим, при использовании в качестве предиктора только сопротивления пенетрации, мы получаем низкие значения коэффициента детерминации. Если использовать только значимые предикторы (модель II), предсказание плотности получается наилучшим, однако, определение всех этих показателей является затруднительным. В качестве оптимальных, можно использовать значения сопротивления пенетрации совместно с глубиной (III), т.к. эти

данные получают параллельно во время измерения давления и с содержанием гумуса (IV). Также можно использовать один из этих параметров на выбор, в зависимости от возможностей исследования, либо их сочетание (V).

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.4: 519.240

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ В ПОЧВЕННЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Самсонова В.П.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, vkun@mail.ru

Дисперсионный анализ давно вошел в арсенал методов обработки экспериментальных данных лабораторных, вегетационных и полевых опытов с удобрениями. Однако не всегда делаются различия между моделями обработки результатов. В случае однофакторных опытов алгоритмы расчетов совпадают, но в случае более сложных моделей схемы обработки различаются, что в конечном итоге может приводить к неверной интерпретации результатов. Например, при оценке влияния местоположения разреза и принадлежности почвенной пробы к генетическому горизонту на содержание органического вещества почвы очевидно, что одноименные генетические горизонты на разных точках опробования могут качественно отличаться, так что прямого соответствия градаций второго признака при условии постоянства первого признака на самом деле может не быть. Аналогичная ситуация возникает, например, при подборе хронорядов почв, при сопоставлении географически разделенных объектов и т.п. Это приводит к невозможности оценивать взаимное влияние факторов. При этом между факторами может быть установлена некоторая иерархия, т.е. можно ранжировать факторы по степени общности – так, например, фактор времени будет более общим для сравниваемых почв, чем фактор горизонтов.

Иерархия факторов может быть определена при помощи выявления логической последовательности их влияния на конечный результат. Техника выявления факторов (англ. fishbone) была предложена Каору Исикава в 1952г и в настоящее время подробно разработана в производстве, маркетинге, продажах. Для исследования вклада каждого из анализируемых факторов может быть использован иерархический дисперсионный анализ. При этом основной фактор может быть как фиксированным, так и случайным, а вложенные факторы всегда являются случайными.

Иерархический дисперсионный анализ был применен при исследовании роли пространственной изменчивости значений содержания органического вещества почвы, пробоподготовки, куда входил способ отбора проб (по глубинам или монолитным методом) и способа анализа (аналитическая погрешность). Опыт проводился на пахотных агродерново-подзолистых почвах, мощность опробуемой почвенной толщи 0-30 см. Содержание органического вещества определялось методом Тюрина в модификации Никитина со спектрометрическим окончанием. Оказалось, что основная часть неопределенности результатов обусловлена пространственной изменчивостью свойства (более 75%), около 20% может быть связано с пробоподготовкой, а аналитическая погрешность составляет лишь около 5%. Отметим, что одним из итогов иерархического дисперсионного анализа является оценка случайной составляющей анализируемого свойства, что дает представление о качестве проведенного анализа.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.4

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ КАРЕЛИИ

Сидорова В.А.¹, Конюшкова М.В.², Крюкова Ю.А.², Ильичев И.А.², Красильников П.В.²

¹ ОКНИ КарНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail: val.sidorova@gmail.com;

² МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

Органическое вещество почвы является одним из ключевых компонентов наземных экосистем. Запасы органического вещества в почве зависят от большого числа факторов, среди которых климат, структура ландшафта, тип растительного покрова, особенности физико-химических и биологических свойств почвы относятся к числу наиболее важных. При оценке запасов углерода в почвах чаще всего делается упор на поверхностный слой, где аккумулируется большая часть органического углерода. Однако большие запасы углерода накапливаются и на больших глубинах. Поэтому необходимо знание содержания углерода не только в поверхностном, но и в нижележащих горизонтах. Цель исследования – оценить запасы углерода в лесных почвах с учетом латерального варьирования и вертикального распределения.

Исследования проводились на территории Карелии. Участок в районе деревни Вешкелица (61°54'N 32°52'E) находится в пределах среднетаежной подзоны. Территория относится к Центральному агроклиматическому району. Почвы формируются в условиях грядово-холмистого рельефа. Западная и юго-восточная граница участка частично проходит по берегам озер, соединенных ручьем. Участок характеризуется обилием болотных котловин и выходов кристаллических горных пород. Почвенный покров представлен сочетанием подзолов, подзолов глеевых, подбуров, дерново-глеевых, перегнойно-глеевых, торфяных верховых и торфяных переходных почв.

Исследования проводились на территории площадью 1 км². Использовались данные почвенной съемки. Разрезы были заложены по случайно-регулярной сетке с шагом 100 м. Всего было заложено 95 разрезов. В каждой точке опробования записывались координаты точки, высота над уровнем моря, мощность горизонтов, а также из каждого горизонта были отобраны образцы для последующего анализа. В полученных образцах определялись плотность, влажность и содержание органического углерода.

Так как почвенные горизонты значительно варьируют по мощности, на первом этапе исследования была проведена процедура аппроксимации моделей почвенных свойств непрерывной функцией методом сплайнов. На основе полученных функций по исходным данным были рассчитаны запасы углерода по слоям 0-5, 5-15, 15-30 и 30-50 см, а также общий запас в слое 0-50 см. Проводился классический статистический анализ выборки, сравнительный анализ группы выборок, корреляционный и регрессионный анализ.

Пространственная изменчивость почвенных показателей была исследована с помощью геостатистических методов: анализ вариограмм и различные виды кригинга.

Запасы органического углерода в почвенном слое 0-50 см варьируют в значительных пределах: от 31,26 т/га до 694,31 т/га. Средние запасы – 139,68 т/га, коэффициент вариации – 74,0%. По диаграмме распределения запасов углерода по типам почв и по результатам сравнения средних по критерию Фишера, все представленные на участке типы почв можно разделить на две группы по запасам углерода. К первой группе (средние запасы от 70 до 130

т/га) относятся все минеральные почвы, а также торфяно-подзол, где имеется торфяной горизонт, но небольшой мощности, и торфяная олиготрофная почва, где за счет очень низкой плотности торфа получаются низкие значения запасов. Ко второй группе (средние запасы около 300 т/га) относятся торфяно-глееземы и торфяная эутрофная почва.

В типичном почвенном профиле первые несколько сантиметров имеют очень высокое содержание органического углерода. Вниз по профилю количество органического вещества уменьшается по сравнению с гумусовым горизонтом в несколько раз. Во влажных почвах происходит процесс аккумуляции органического вещества и торфонакопления. В этом случае, в зависимости от мощности торфяного горизонта, мы имеем либо равномерное распределение содержания органического углерода по профилю с незначительными колебаниями в зависимости от зольности торфа, либо резкое изменение на границе перехода торфяного горизонта и подстилающих пород.

В почвах лесных областей, характеризующихся быстрым убыванием содержания гумуса с глубиной, основные запасы углерода сосредоточены в верхнем слое. Наши исследования показали, что в минеральных почвах на слой 0-5 и 5-15 см суммарно приходится от 45 до 70% общего запаса в слое 0-50 см. В торфяных почвах содержание углерода равномерное, причём с глубиной возрастает плотность почвы, и 42-48% от общего запаса углерода в слое 0-50 см приходится на слой 30-50 см.

Распределение частот запасов углерода по слоям показало, что для всех глубин это распределение сильно отличается от нормального. Частотный максимум приходится на низкие значения запасов, но за счет почв с торфяным горизонтом имеется длинный «хвост» с повышенными значениями запасов. Коэффициент асимметрии больше 2,5. После логарифмического преобразования данные вполне пригодны для геостатистического анализа и моделирования.

Анализ вариограмм показал, что пространственные зависимости наблюдаются для расстояний примерно 300-350 м, но при этом остаточная дисперсия больше 70%, то есть степень пространственной зависимости слабая. Анализ вариограмм по направлениям показал, что имеется явно выраженная анизотропия в пространственном распределении запасов углерода. Точно определить причины варьирования невозможно. Корреляционных зависимостей от высоты пробоотбора не выявлено, регрессионный анализ также не показал значимой зависимости запасов углерода от координат точек. Возможные причины варьирования – размеры почвенных контуров (300-500 м), межрядовое расстояние, присутствие оторфованных почв вдоль ручья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-17-01293, полевые работы) и в рамках государственного задания FMEN 2022-0014 (обработка результатов).

УДК 631.46

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ ПОДЗОНЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ЧЕРНОЗЁМОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Федченко Л.А.

Алтайский ГАУ, Барнаул, fedtschenko.leonid.1999@mail.ru

О необходимости создания региональных классификаций почв на основе количественных характеристик говорил в своей работе академик Соколов И.А. (2004): «базовая классификация нуждается в конкретизации и разработке региональных классификаций, в которых «центральный образ» приобретает количественные характеристики, обусловленные особенностями регионального почвообразования».

Региональные классификации почв дополняют существующие базовые классификации, делают однозначной идентификацию их таксонов в реальных условиях. Для количественного описания свойств типов, подтипов почв на региональном уровне следует

использовать методы математического моделирования. В данной работе используется информационно-логический анализ, предложенный Пузаченко Ю.Г. и др. (1978).

Информационно-логический анализ позволяет выделить специфические состояния (наиболее вероятные) диагностические признаки таксонов для данного региона, оценить степень неопределённости внутри подтипов почв, построить математические модели, позволяющие идентифицировать почвы по её свойствам. Информационно-логический анализ можно применять, даже если выборка не формирует нормальное частотное (Гауссово) распределение, что особо актуально при обработке эмпирических данных почвенных обследований.

Объект исследования: региональная классификация почв Алтайского края. Предмет исследования: подтипы почв подзоны обыкновенных чернозёмов умеренно засушливой и колочной степи Алтайского края. Источник данных для информационно-логического анализа: данные свойств почв последнего тура обследования НИИ «ЗАПСИБГИПРОЗЕМ» более 50 хозяйств за 1990-1996 года (около 350 разрезов). В качестве базовой классификации была принята классификация почв СССР (1977 г.) и классификация почв России (2008). Региональная классификация не должна полностью исключать генетические принципы базовой классификации почв и опираться только лишь на численные методы: цифровую таксономию и мерономию (Рожков, 2012). Напротив, она призвана уточнять и дополнять базовую классификацию на региональном уровне. Региональные эталоны – это количественные модели, включающие в себя информацию о специфических, наиболее вероятных состояниях диагностических признаков подтипов почв, распространённых на изучаемой территории. В данной работе, региональные эталоны были созданы для 4-х, наиболее распространённых подтипов почв подзоны обыкновенных чернозёмов Алтайского края: тёмно-серых лесных почв, чернозёмов выщелоченных, чернозёмов обыкновенных, лугово-чернозёмных почв. Региональные эталоны не только позволяют дать количественное описание подтипов почв подзоны, но и облегчают переход из одной классификации в другую, делают его объективным. Это необходимо, когда переход не всегда однозначный, например, чернозём обыкновенный по классификации почв России (2008г.) может соответствовать трём отделам: агрочернозёмам, агрозёмам, агробразёмам. Параметры информационно-логического анализа могут решить ряд классификационных проблем. Например, специфические состояния свойств региональных эталонов, могут использоваться для определения классификационных границ основных таксономических групп почв: типов, подтипов; коэффициент эффективности передачи информации показывает какую часть информации передаёт фактор (диагностический признак) явлению (тип, подтип почвы) без потерь на сторонний «информационный шум» от соседних явлений-факторов (классификационных соседей), что означает его способность быть мерой таксономического веса диагностических признаков в классификации; энтропия, рассчитанная по формуле К. Шеннона ($H(a/b)$) позволяет оценить варьирование диагностических признаков внутри однородных групп почв региона, что позволяет делать выводы о степени выровненности свойств почв данного региона. Пример региональных эталонов подтипов чернозёма выщелоченного и обыкновенного дан в таблице ниже:

Таблица – Специфические состояние диагностических свойств (регионального эталона почв подзоны черноземов обыкновенных умеренно засушливой степи Алтайского края)

Подтип	Чернозём выщелоченный		Чернозём обыкновенный	
	$A_{пах}$	AB	$A_{пах}$	AB
Горизонт	$A_{пах}$	AB	$A_{пах}$	AB
pH	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	7,5-8,0
Сумма поглощённых оснований, мг-экв/100 г	25,0-30,0	30,0-35,0	<10,0	20,0-25,0

Содержание поглощённого кальция, мг-экв/100 г	25,0-30,0	20,0-25,0	>30,0	20,0-25,0
Содержание поглощённого магния, мг-экв/100 г	4,0-4,5	4,0-4,5	2,5-3,0	3,5-4,0
Содержание общего азота, %	0,20-0,25	0,15-0,20	0,20-0,25	<0,10
Содержание обменного калия, мг/100 г	15,0-20,0	>5,0	25,0-30,0	>5,0
Содержание подвижного фосфора, мг/100 г	20,0-25,0	20,0-25,0	25,0-30,0	25,0-30,0
Содержание гумуса, %	4,0-5,0	2,0-3,0	4,0-5,0	3,0-4,0
Мощность гумусового горизонта, см	<30,0		<30,0	
Содержание физической глины, %	<20,0	>45,0	40,0-45,0	40,0-45,0
Содержание илистой фракции, %	15,0-20,0	30,0-35,0	10,0-15,0	35,0-40,0

Помимо региональных эталонов почв – количественных моделей, были также созданы качественно-количественные модели, позволяющие определить качественные различия между таксономическими группами в пределах подзоны. В качестве примера показаны качественно-количественные модели 12-го почвенного района для двух классификаций:

модель по классификации почв СССР (1977 г.):

$ТП_{1977} = pH^{AB} \boxtimes pH^A \boxtimes (S^{AB} \boxtimes \Gamma^A \boxtimes (N^A \boxtimes N^{AB}))$

модель по классификации почв России (2008 г.):

$ТП_{2008} = M \boxtimes (pH_{PU} \boxtimes \Gamma_{PU} \boxtimes pH_{BCA(AU)} \boxtimes (N_{BCA(AU)} \boxtimes K_{BCA(AU)}))$

где $ТП_{1977(2008)}$ – ранг таксономической группы (подтипа) почвы по классификации СССР,

1977 г. (России, 2008 г.); S – ранг таксономической группы по содержанию суммы

поглощенных оснований; Γ – ранг таксономической группы по содержанию валового гумуса;

N_b – ранг таксономической группы по содержанию валового азота; A, AB – обозначение

горизонтов по классификации почв СССР, 1977 г.; PU, BCA (AU) – соответствующие

горизонты классификации почв России; \boxtimes – знак функции нелинейного произведения.

На первом месте в формуле качественно-количественной модели стоят наиболее информативные диагностические признаки – pH, сумма поглощённых оснований, мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, а на последнем – менее информативные:

содержание общего азота, доступных форм калия.

Таким образом, в заключении можно отметить:

Региональные эталоны, созданные с помощью информационно-логического анализа, могут быть основой региональной классификации почв, сочетающей в себе генетические принципы построения базовой классификации почв СССР и численных методов таксономии.

Региональные эталоны позволяют объективно проводить корреляцию между разными базовыми классификациями. В ходе построения региональных эталонов можно выявлять таксономический вес диагностических признаков, степень варьирования показателей диагностического признака на территории изучаемой местности.

УДК 631.42

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ПОЧВАХАБ»

Цымбарович П.Р., Фомин Д.С., Мартынов Д.О., Толстыгин К.Д., Пономаренко Б.Д.,

Журавлев Д.И., Мусаэлян Р.Э.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, petr@tsymbarovich.ru

В Почвенном институте создана информационно-аналитическая система «ПочваХаб», предназначенная для объединения и управления разнородными данными почвенно-

экологических обследований. Система реализована в виде набора серверных и пользовательских веб приложений. В ее основе лежит геоинформационная база данных, включающая результаты полевых и лабораторных исследований, пространственную информацию, фотографии и другие файлы.

Реализован авторизованный доступ к системе с учетом прав пользователей. Основной информационной единицей является проект. В проекты добавляются:

объекты обследования – крупные территориальные или логические единицы (с/х поле, ключевой участок и т.п.);

точки и площадки обследования – непосредственные точки проведения полевых обследований и отбора образцов;

результаты полевых обследований;

образцы;

результаты лабораторных измерений образцов;

разнообразные связанные файлы, в том числе пространственные слои.

Авторы проектов могут приглашать в них других пользователей и наделять их правами на различные действия (добавление, редактирование, удаление данных). При необходимости проекты можно объединять в группы.

Для формализации хранимых данных в системе предусмотрены справочники полевых и лабораторных методик. Для каждой методики прорабатываются схемы получаемых данных и параметров их получения. Также предусмотрен справочник методик отбора образцов со схемами параметров отбора. В рамках проекта создаются протоколы обследований/измерений, в которые включаются только необходимые методики из справочников. Добавление полевых и лабораторных данных производится по создаваемым протоколам. В качестве отправной точки наполнения справочника методик было выбрано руководство по описанию почв ФАО и Практикум по агрохимии по редакцией Минеева В.Г. Все вносимые в систему данные с пространственной привязкой (объекты, точки, образцы, географические слои) могут быть отображены на карте в пользовательском интерфейсе. Серверные приложения написаны на языке Python с использованием библиотек FastAPI, Pydantic и SQLAlchemy. В качестве системы управления базами данных используется PostgreSQL с расширением PostGIS для поддержки географических объектов. Для хранения файлов – объектное хранилище MinIO. Приложения запускаются в контейнерной среде. Интерфейс пользователя разработан как веб-приложение, использующее TypeScript и React. Особое внимание уделено удобству использования и пользовательскому опыту через специализированные пользовательские сценарии и статичные прототипы интерфейса.

УДК 631.42

ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЧВ ЮГА
БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ) С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Чинилин А.В.

ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, chinilin_av@esoil.ru

Обширные работы по составлению крупномасштабных почвенных карт на территорию сельскохозяйственных угодий в советское время проводились в несколько туров в период с 1960-х по 1990-е года проектными институтами по землеустройству. Эти карты использовались для формирования плана землепользования, обоснования агрохимических мероприятий, рекультивации почв, планирования орошения. Однако сейчас растет спрос на более подробные тематические карты для управления эмиссии углерода, точного земледелия и поддержки целевого планирования землепользования. Этот спрос можно удовлетворить, применяя идеи и методологию цифровой почвенной картографии (ЦПК), технологии

бесконтактного зондирования, инструменты машинного обучения и искусственного интеллекта.

За последние десятилетия данные дистанционного зондирования (ДДЗ) с оптических спутников заметно изменили парадигму картографирования и мониторинга почв, а также проложили путь к их более объективному изучению. Новейшие достижения в области развития ГИС-технологий, значительное расширение свободно доступных ресурсов ДДЗ, появление новых спутников и их группировок с все более высоким пространственным, временным и спектральным разрешением, моделирование почвенно-ландшафтных связей представляют принципиально новые пути развития подходов крупномасштабного картографирования почвенного покрова на современном технологическом уровне.

Хотя ДДЗ показали свою эффективность в работах по почвенно-ландшафтному картографированию, основным препятствием их использования остается влияние аэрозолей, облачности, растительности, пожнивных остатков, влажности почв, шероховатости поверхности. Для устранения существующих недостатков в методологию ЦПК были внедрены подходы создания синтетических изображений оголенной поверхности почв (“barest soil composite”, “synthetic soil image”, “bare soil mosaic”) из коллекций спутниковых изображений. Подобная мозаика изображений открывает новые возможности картографирования почв и их свойств, предлагая усредненные по временным рядам изображения оголенной поверхности почв.

В работе представлены результаты вероятностного моделирования распространения двух таксонов почв с использованием суммирующего эффекта ДДЗ по открытой поверхности почв и данных о среднемноголетнем состоянии сельскохозяйственных культур. Для каждого из 2-х типов почв мы представляем вероятность их распространения в пределах представительных участков сельскохозяйственных угодий. По результатам перекрестной проверки коэффициент общей точности при моделировании составляет 0,85, Каппа Коэна 0,67, что можно расценить как адекватную приемлемую оценку.

(Z) КОМИССИЯ ПО ИСТОРИИ, ФИЛОСОФИИ, СОЦИОЛОГИИ В ПОЧВОВЕДЕНИИ

УДК 504.2

РАЗДЕЛ “ОБЗОР ПОЧВ, РАЗВИТЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕЧОРСКО-ЫЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА” – В НЕОПУБЛИКОВАННОЙ МОНОГРАФИИ В.А. ВАРСАНОФЬЕВОЙ “ПЕЧОРСКО-ЫЛЫЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК” (1947 г.)

Валькова О.А.

Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, Москва, oval2@yandex.ru

Вера Александровна Варсанофьева (1889–1976) – первая в СССР женщина – доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент Академии педагогических наук, вице-президент Московского общества испытателей природы (далее – МОИП), редактор геологического отделения «Бюллетеня МОИП». Она внесла большой вклад в преподавание наук о Земле: создав и на протяжении нескольких десятилетий возглавляя кафедру геологии в Московском государственном педагогическом институте им. В.И. Ленина, Варсанофьева воспитала десятки учеников, разрабатывала учебные планы по геологическим дисциплинам, использовавшиеся в вузах на всей территории СССР, яростно боролась за сохранение учебных часов по геологии в вузах, которые министерство постоянно пыталось сократить. Одновременно с ранней юности и до глубокой старости летние месяцы В.А. Варсанофьевой были посвящены полевым геологическим исследованиям преимущественно территории Северного Урала и прилегающих районов. Информация о ее работах частично сохранилась в виде отчетов, в геологических фондах, частично была опубликована при жизни автора. Однако долгие годы в ее значительном по объему документальном наследии сохранялся пробел: одна из монографий, написанная в 1946–1947 гг., остававшаяся неопубликованной, считалась утерянной. Речь идет о книге «Печорско-Ылычский государственный заповедник», содержавшей общий физико-географический очерк природы этого заповедника. Впоследствии В.А. Варсанофьева вспоминала, что в 1943 г. заместитель председателя Государственного комитета по заповедникам В.Н. Макаров обратился к ней с просьбой написать книгу о природе заповедника. Она приступила к работе в 1944 г., но большая часть монографии была написана осенью-зимой 1946–1947 г., когда В.А. Варсанофьева получила разрешение остаться в Якше после окончания сезона полевых исследований. Сотрудники заповедника В.П. Теплов, Л.Б. Ланина и другие активно помогали ей, в т.ч. предоставили доступ к своим тогда еще не опубликованным рукописям. К концу 1947 г. рукопись была готова. Она состояла из четырех больших глав. В первой давались общие сведения о рельефе, геологическом строении, гидрографии, климате, почвах, животном и растительном мире, позволяющие охарактеризовать территорию заповедника в целом. Они стали основанием, на которое автор наложил далее описания отдельных областей территории и отдельных времен года. Вторая глава была посвящена описанию ландшафтов трех основных геоморфологических областей заповедника: Печорской равнины или борового района, увалистой полосы или района темнохвойных лесов и горной полосы с ее ярусным расположением и особенностями растительных ландшафтов от субальпийских лесов до высокогорной тундры и гольцов. В третьей главе описывались ландшафты четырех времен года в Печорско-Ылычском заповеднике и «история» их последовательных сезонных изменений. Четвертая глава представляла собой исторический очерк изучения территории заповедника. Хотя В.А. Варсанофьева официально никогда не была сотрудником заповедника, она провела десятки лет, изучая эти места, вероятно, знала особенности его территории лучше всех своих современников, и безусловно была лучшим кандидатом в авторы подобной работы. Однако прежде, чем книга успела выйти в свет, произошла реформа Главного управления по заповедникам, затронувшая и его издательство, которое

прекратило свое существование. Уже готовая рукопись В.А. Варсанюфьевой пропала. Вскоре, в 1951 г. последовала разрушительная реформа всей системы советских заповедников, и публикация работы была отложена на долгие годы. К 1966 г. В.А. Варсанюфьева подготовила вторую редакцию книги, значительно расширив первоначальный вариант. Однако по разным обстоятельствам эта рукопись также не была издана. Автор продолжала работу над книгой почти что до самой своей смерти в 1976 г., но так и не увидела ее опубликованной.

В Коми научном центре УрО РАН ходила легенда о том, что она отдала готовую рукопись в библиотеку МОИП в Москве, но там ее не оказалось. Разрозненные фрагменты рукописи были обнаружены нами в личном фонде Варсанюфьевой в Российском государственном архиве экономики (Ф. 3). Несколько лет работы ушло на сравнение различных редакций рукописи, поиск недостающих частей среди сохранившихся черновиков, учет многочисленных внесенных автором, редакторами, рецензентами исправлений, прежде чем перед нами предстала законченная, без единого пропуска книга. За прошедшие годы она стала памятником научной мысли, не утратив при этом своего научного значения; она также содержит уникальную информацию о природе заповедника в его границах 1947 г., до его почти полного уничтожения во время реформы 1951 г. и начала интенсивного хозяйственного использования, приведшего к значительному изменению части ландшафтов. В последствии, значительная часть территорий заповеднику была возвращена при активной помощи и поддержке Варсанюфьевой, но ущерб уже был нанесен.

Как уже упоминалось выше, первая глава книги содержит подробный обзор почв, развитых на территории заповедника. Очень тщательно Варсанюфьева описала почвы представленные территории заповедника, составлявшей в то время более миллиона гектаров. Она указывала на причины преобладания тех или иных видов почв в связи с климатическими факторами, характером материнских пород: их механическим и химическим составом; а также рельефом местности, экспозицией склонов. Варсанюфьева указывала на то, что область заповедника расположена в зоне, для которой характерен подзолистый почвообразовательный процесс (подзолистая или лесная зона), но в которой довольно часто встречаются болотные и полуболотные почвы. Она также писала о том, что подзолистый почвообразовательный процесс не одинаково ярко выражен в различных частях лесной полосы и приводила его в зависимость от растительности той или иной местности. Завершая свой очерк, Варсанюфьева указывала, что «помимо вопросов, связанных с изучением отдельных типов почв, необходимо дать со временем почвенную карту всей территории заповедника, которая была бы увязана с геологической, геоморфологической и геоботанической картой. Сопоставление этих карт даст интереснейшую иллюстрацию той связи, которая существует между рельефом, климатом и почвообразованием с одной стороны, растительным и почвенным покровом с другой», – писала она. С момента написания этих слов в отношении изучения почв заповедника было сделано очень немало. Итогом многолетних работ стала публикация в 2013 г. обобщающей монографии: Забоева И.В., Лаптева Е.М., Жангуров Е.В., Константинова Т.П., Дегтева С.В., Дубровский Ю.А., Втюрин Г.М., Холопов Ю.В., Хохлова Л.Г., Елсаков В.В., Рыбин Л.Н., Рубцов М.Д., Дымов А.А. Почвы и почвенный покров Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) / Отв. ред. С.В. Дегтева, Е.М. Лаптева. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2013. 328 с. Однако мы думаем, что и работа В.А. Варсанюфьевой все еще может быть полезна специалистам и, безусловно, будет интересна всем, интересующимся историей естественных наук.

УДК 631.4

УРОЖАЙ В РАЗВИТИИ НАРОДОВ И УРОЖАЙ В ИСКУССТВЕ

Зубкова Т.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail dusy.taz@mail.ru

Экологические проблемы в России, как и во многих странах, - это загрязнение воздуха, воды и почвы; бытовые отходы; радиоактивное загрязнение; вырубка лесов; уничтожение заповедных зон и другие. Промышленное и сельскохозяйственное производство привело к ухудшению качества земли и воды. Многие почвы деградировали безвозвратно. Однако решение экологических проблем часто буксует. Неохотно выделяются деньги на их разрешение. Но человечество все-таки предпринимает активные действия по защите природы и в первую очередь это касается перехода Европы на зеленую энергетику. Создание заповедников, посадка деревьев, лесонасаждение – все это ведет к восстановлению исчезающих видов растений и популяций животных. Особого внимания заслуживает проблема грамотного и бережного отношения к почвенным ресурсам с сохранением ее экологических функций. Традиционно экологические проблемы решаются на законодательном уровне, исполнительной власти и общественных организаций. Однако в решении этой проблемы открывается новая сторона вопроса - через искусство. Цель работы – показать, как тема урожая в живописи может быть направлением и средством в сохранении почвенных ресурсов страны. Сельское хозяйство играло ключевую роль в обеспечении человека продуктами питания на протяжении всего периода развития земледелия. Для почвовода урожай измеряется тоннами и центнерами, а посевные площади - гектарами. Однако искусство по-другому оценивает продукты. Урожай вдохновлял многих художников на создание произведений искусств, а их картины увлекали публику и давали толчок развитию культуры. Яблоневый сад и его дары изображены в картинах Клода Моне, Давида Бурлюка, Бориса Кустодиева, Петра Кончаловского. Яблоко как вечная спираль жизни в картине Кузьмы Петрова-Водкина «Деревня», 1918. Натюрморты с яблоками писали Константин Коровин, Винсент Ван Гог, Игорь Грабарь. Борис Кустодиев «Яблоко и сторублевка», 1916, и Рене Магритт «Комната для прослушивания», 1952, вывели яблоко на философский уровень в осмыслении жизни и места человека в ней. Отношение к пшеничным колосьям было трепетным, поскольку они воспринимались как дар богов. Сценами уборки урожая расписаны египетские гробницы 14-16 в. Греческая плита V века изображает Аида и Персефону в царственных креслах. Персефона держит в руках букет из колосков, она богиня весны и плодородия. Удивительно другое – Аид, бог подземного царства мертвых, в руках тоже держит растение. Если Персефона на летний период выходит на землю, покровительствует цветению и созреванию урожая, то Аид в своем подземелье, куда не проникают солнечные лучи и обитают только мертвые, неожиданно изображен с растением. Возможно, уже в Древней Греции люди понимали, что любые растения берут свое начало в земле, там же происходит и возрождение их жизни каждый год после зимнего периода. Поэтому художник наделил Аида этой возрождающей жизнь силой, которую олицетворяет растение в его руках. Тема жатвы, жнецов, ржаного поля показаны в работах Питера Брейгеля старшего (1565), Винсента Ван Гога, Пабло Пикассо (1907), Ивана Шишкина. Огурец известен еще со времен Древнего Египта, его дарили богам. Он наполнен водой и семенами, что ассоциируется с мощным источником жизни и символом плодородия. Наполненные огурцами корзины в картинах российских художников, как символ победы, преодоления трудностей. Эрвин Вурм создал инсталляцию в Зальцбурге, прославляющую огурцы размером в рост человека. Капуста предстает и грозным монстром и красавицей розой, как в портрете капусты Павла Кузнецова. Картошка – один из самых любимых продуктов в нашей стране и у многих народов мира. Поэтому живописцы часто обращались к теме картофеля, а также отражали тяжелый труд при сборе урожая. Именно картофель, как второй хлеб, использовали современные художники в протестах против искусственной еды – это Рой Лихтенштейн «Печеный картофель», 1962 и Клас Ольденбург «Картофель фри и кетчуп», 1963. Искусство показывает, что роль почвенного плодородия и собранный урожай служат человеку не только для кулинарных потребностей. Продуктовая корзина – только первый и необходимый шаг для формирования духовной сферы жизни общества. Широкое освещение темы урожая в полотнах художников – свидетельство вечной тяги человека к

живительной силе земли. Предлагается схема круговорота энергии земли в материальной и духовной сферах общества. Она включает переход энергии земли из подземного царства Аида в почву; из почвы совместно с солнечной энергией - в культурные растения и животные, и от них – с пищей к человеку. Казалось бы, на этом заканчивается переход энергии земли к потребителю, и далее после смерти организма происходит возвращение ее с прахом обратно в почву. Но человек на протяжении своей жизни создает духовную или мысленную сферу: науки, культура, религия, искусство, образование, философия и др. Произведения искусства, как результат творческой энергии человека, оказывают воздействие на других людей, причем, не только на уровне получения ими эмоций и удовольствий, а также на мировоззрение и поведенческие функции. В конечном итоге искусство толкает человека на переосмысление прежних постулатов, вплоть до изменения своего отношения к жизни и окружающему миру. И здесь мы подходим к главному: если предмет живописи – урожай и продукты питания, которые необходимы для жизни, то вполне реально изменение отношения человека к важнейшему природному объекту, активному участнику сельскохозяйственного производства – почве. Люди могут меняться двумя путями: социальным и биологическим. Генетические изменения нашего вида требуют порядка 3000-4000 лет, поэтому не представляют интерес на данный момент. Социальная адаптация человека к природе теоретически возможна, но реализуема ли на практике? Одним из таких путей может быть изменение отношения человека к природе и почве через искусство. Религия уже реально меняет свои взгляды по отношению к природе с появлением энциклики Папы Римского Франциска в 2015 году, которая была посвящена вопросам экологии. Она выступает в защиту всей природы, хотя ранее христианская церковь расставляла приоритеты совсем в ином порядке: люди были лучше и важнее животных. Современная архитектура также поворачивается лицом к природе: она повторяет некоторые формы растений и животных или имеет схожесть с ними. Так, бизнес-центр в Лондоне, архитектор Норман Фостер, напоминает форму огурца или корнишона. Национальный музей шейха Зади в Абу-Дабе, работы архитектурного бюро Нормана Фостера, ассоциируется с мерцающими крыльями птицы. Норман Фостер участвовал и в России: его проект ЦДХ представлял апельсин, разрезанный на дольки. Сотрудник бостонской архитектурной компании Кевин Шопфер, создал проект Дома тетраэдра в Новом Орлеане. А тетраэдр является минимальным структурным элементом во Вселенной. На Земле это основная структурная единица всех природных силикатов и молекулы метана. Кевин Шопфер предложил даже термин Аркология, который означает тесную взаимосвязь архитектуры с экологией, причем это не простое сложение, а архитектура, которая проповедует экологию и защиту природы. Появляется надежда, что благодаря широкому освещению темы урожая в искусстве, человек изменит свое отношение к природе от хищнического потребления ее даров к бережному отношению, охране и восстановлению почв. Или мы будем заряжаться мощной энергией по картинам Винсента Ван Гога, Бориса Кустодиева, Ивана Шишкина, и многими другими или «глотать» печеный картофель, как у Роя Лихтенштейна и картофель фри из искусственной кожи – выбор за нами. На основе проведенного исследования темы урожая в искусстве и связи с почвенным плодородием предложена схема трансформации энергии земли в материальной и духовной сферах общества, которая включает почву, растения, животные, человека и далее в процессе творчества переходит в духовную сферу – произведения искусства. Пройдя через духовную сферу жизни людей, энергия картин возвращается вновь к человеку, воздействуя на его эмоции, сознание и поведенческие функции. В конечном итоге тема урожая в искусстве будет способствовать изменению отношения человека к природе в целом и почве в частности на бережное и разумное, что позволит выжить человечеству на планете Земля.

УДК 631.4

ВКЛАД КАЗАНСКОГО ПОЧВОВЕДА Р.В. РИЗПОЛОЖЕНСКОГО В ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ

Русакова Е.А.

Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, el.rus@mail.ru

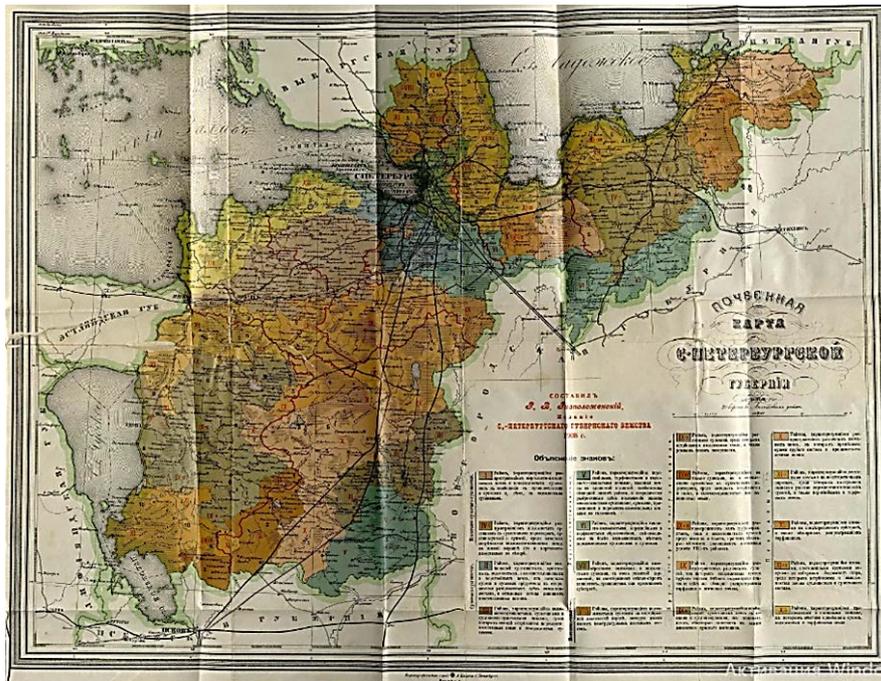
В период бурного развития науки о почве на рубеже XIX–XX вв., в Казанском университете, благодаря работам Р.В. Ризположенского (1862 – предп. 1921–1924 гг.), было создано одно из почвенно-биологических направлений почвоведения. Его почвенно-геологические исследования, оригинальная теория почвообразовательного процесса, понимание сущности и задачах науки способствовали укреплению молодой отрасли естествознания. Согласно Ризположенскому, суть почвообразования сводилась к взаимодействию организмов и горных пород: по его мнению, организмы целенаправленно «захватывают и подготавливают питательный материал для ... своих будущих поколений». Вместе с ботаниками С.И. Коржинским (1861–1900 гг.) и А.Я. Гордягиным (1865–1932 гг.) при "Обществе Естествоиспытателей при Императорском Казанском Университете", Р.В. Ризположенским была создана широко известная в то время Казанская почвенно-ботаническая школа. Если основоположник почвоведения В.В. Докучаев с 1877 г. при Императорском Вольном экономическом обществе приступил к изучению почв западной части Европейской России, то начиная с 1887 г., Р.В. Ризположенский стал одним из первых организаторов в рамках Казанского общества естествоиспытателей работ по почвенному и ботаническому исследованию восточных губерний России (Волжско-Камского края). Почвенно-географические исследования он начал с изучения уездов Костромской губернии с целью выяснения связи между растительностью и почвами, классифицируя почвы по системе В.В. Докучаева, основанной на генетическом принципе. Однако, уже по окончании изучения почв Казанской губернии (1892 г.) Ризположенский составляет свою почвенную систему, основанную на морфолого-генетических признаках и приходит к выводу «о возможности построения, лишь на основании этих признаков, общеприемлемой подробной почвенной классификации, которой эта наука пока не имеет...». Позже, когда его исследования распространились на другие губернии к нему, пришло осознание того, что создать универсальную классификацию сложно и для этого еще недостаточно накоплено материала. С 1893 по 1897 гг. Ризположенским были начаты исследования почв соседних с Казанской, восточных губерний России – Самарской, Симбирской, Вятской, Пермской, Тобольской. В результате была собрана обширная коллекция почв, дана их классификация, проведены некоторые химические анализы, составлено несколько почвенных карт и издан ряд печатных работ.

В 1889 г. Ризположенским был предложен «особый способ собирания почвенных образцов, дающий возможность наблюдать почву в лаборатории и музее со всеми особенностями её строения, в том виде, в каком она существует в природе». Для этого он сконструировал специальный прибор для отбора почвенных образцов, описав его и технологию выемки монолита в «Объяснительной записке к экспонатам», представленным на Всемирную Выставку 1900 г. в Париже; там же был дан рисунок прибора. Уже к 1900 г. этот способ, по словам самого Р.В. Ризположенского, сделался «более или менее распространённым в России». К 1912 г. почвенные коллекции Ризположенского были уже в 30 учреждениях и частных коллекциях.

Судьба большинства почвенных коллекций Р. В. Ризположенского неизвестна, но одна из них, присланная им Лесному институту сохранилась и сейчас находится в Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете им. С.М. Кирова. Коллекция, по описи советского времени, насчитывала 62 наименования почв, разделенных на 7 групп по природным зонам. Подзолистые почвы были представлены почвами Санкт-Петербургской, Казанской и Владимирской губерний. Лесостепные почвы были из

Воронежской, Полтавской и Саратовской губерний. Черноземы представляли Уфимская, Воронежская, Саратовская, Самарская, Екатерино-Славская губернии и Александрополь. Каштановые почвы были отобраны в Самарской губернии, сероземы в Закаспийской области, краснозем привезены из окрестностей Батума. Засоленные почвы были представлены солонцами Воронежской и Саратовской губерний и мокрым солонцом Самарской губернии. Была даже черноземовидная рендзина из Люблинской губернии (Польша) и горно-луговая почва, отобранная близ Боржома. На сегодняшний день 7 почв коллекции Р.В. Ризположенского находятся в экспозиции почвенного музея Лесотехнического университета, часть почв находится в хранилище.

В 1905 г. Санкт-Петербургское губернское земство поручило Ризположенскому почвенное обследование губернии. Результаты он опубликовал в работе «Описание Санкт-Петербургской губернии в почвенном отношении», изданной в типографии Казанского университета в 1908



Г., К

ней прилагалась почвенная карта С.-Петербургского губернского земства в масштабе 20 верст в английском дюйме и 2 таблицы, с изображением 8 цветных почвенных монолитов (эти изображения почвенных профилей являются одними из первых в печатных изданиях). Ризположенским было дано геологическое, гидрографическое описание 8 уездов, на основе морфологического описания выделено 50 видов и разновидностей почв. По географическому распространению данных почв было сформировано 12 почвенных районов. Это было первое почвенное обследование данной территории и по словам Ризположенского «Почвенный покров его (С.-Петербургского уезда) своеобразен и – здесь встречаются виды почв, не бывшие ранее описанными». Классификация почв была построена на основании различий в их морфологических характеристиках, карбонатности, механическом составе. Отмечалось, что природные богатства С.-Петербургской губернии были значительно использованы населяющими ее народами еще со времен Петра I: происходила вырубка лесов на местности, с почвами пригодными для сельского хозяйства; осушено и расчищено множество непроходимых болотистых территорий, в связи со строительством города, поэтому им учитывались как естественные, так и антропогенные факторы, влияющие на состав почв и почвенного покрова губернии.

К 1907 г. по морфологическому методу Ризположенского были проведены работы в 47 уездах 5 губерний Европейской России. Было обследовано 618 тыс. км², или 15 % территории Европейской России и составлены почвенные карты. Хотя почвенные карты, составленные Р.В. Ризположенским были схематичными и только объединяли участки с однородными почвами, без разделения их на типы и разновидности, тем не менее, они давали общее представление о почвенном покрове изучаемой территории.

УДК 631.474

ВКЛАД ОТЕЧЕСТВЕННЫХ УЧЕНЫХ В СОЗДАНИЕ «ПОЧВЕННОЙ КАРТЫ МИРА ЮНЕСКО», 1974

Собисевич А.В.^{1,2}

¹Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, Москва;

²Российский государственный гуманитарный университет, Москва, sobisevich@mail.ru

С начала 1930-х гг. советские почвоведы принимали участие в проекте создания государственной почвенной карты. Создание карты проводилось силами сотрудников Почвенного института им. В. В. Докучаева под руководством Л. И. Прасолова. В 1935 г. пять листов карты, охватывающие отдельные районы на территории европейской части СССР, были продемонстрированы на Третьем Международном конгрессе почвоведов в Оксфорде. На VI-м международном конгрессе почвоведов, проходившем в Париже, советские почвоведы выступили с инициативой объединения сил почвоведов из различных стран для создания мировой почвенной карты. В первые годы осуществления проекта по созданию почвенной карты мира советские почвоведы играли в нем ведущую роль. В 1960 г. они составили почвенные карты Восточной Европы (в масштабе 1:2 500 000) и Азии (в масштабе 1:6 000 000), которые были представлены на VII-м международном конгрессе почвоведов в Мэдисоне (США). Эти карты были рекомендованы к печати решением Международного консультативного комитета по почвенной карте мира, но по разным причинам так и не были опубликованы.

Во время конгресса, проходившего в Мэдисоне, выяснилось, что оформление представленных на рассмотрение почвенных карт очень сильно различалось. В разных странах для обозначения почв использовалась своя система условных знаков. На конгрессе было принято постановление о разработке единой номенклатуры для обозначения почв. Присутствовавшие на конгрессе почвоведы также обратились к Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) с просьбой поддержать проект по созданию мировой почвенной карты. С 1960 г. ЮНЕСКО и ФАО совместно с Международным обществом почвоведов стали осуществлять проект «Почвенная карта мира». После чего в проекте произошли изменения: теперь главным было не просто изучение закономерностей географического распределения разных типов почв, а изучение их потенциального плодородия и возможности использования в сельском хозяйстве.

В 1961 г. в Риме прошла первая встреча Консультативного совета по созданию мировой почвенной карты. Во встрече принимали участие Ж. Обер (Франция), М. Камаро (Бразилия), Я. д'Ор (Бельгия), Е.В. Лобова (СССР), С.П. Райчаудри (Индия), Г.Д. Смит (США), К.Ж. Стифенс (Австрия), Р. Тавернье (Бельгия), Н.Х. Тэйлор (Новая Зеландия), И.В. Тюрин (СССР) и Ф.А. ван Барен (Нидерланды).

Во время XVIII-го конгресса Международного общества почвоведов, проходившего в Бухаресте в 1964 г., советскими учеными были представлены «Почвенная карта Европы» и «Почвенная карта СССР», подготовленные к печати в составе «Советского физико-географического атласа мира». Почвенная карта Европы усилиями ФАО была создана только в 1966 г. и характеризовалась советскими учеными как имеющая ряд недостатков.

Принципы создания унифицированных карт обсуждались на встрече консультативного совета, проходившей в Москве с 15 по 17 мая 1968 г. Во встрече со стороны ФАО участвовали сотрудники Л. Брамао и Р. Дюдаль, с советской стороны – В.А. Ковда, Е.В. Лобова, М.А. Глазовская, В.М. Фридланд и Е.Н. Руднева. Во время этой встречи советские ученые высказали свою позицию о сохранении в новой классификации уже применяемых названий почв, многие из которых происходили из русского языка.

Отсутствующий на встрече И.П. Герасимов в письменных замечаниях критиковал предложения западных почвоведов по переходу с традиционных названий почв на новые,

имеющие иную лингвистическую основу. Это дало ему основание утверждать, что предложенная ФАО система классификации почв не являлась в полной мере международной, так как не учитывала достижений советского почвоведения и других национальных почвоведческих школ. Л. Брамао же надеялся получить от советских ученых почвенную карту европейской части СССР, чтобы ее можно было использовать для подготовки почвенной карты от Европы до Урала.

На IX-м международном конгрессе почвоведов, проходившем в Аделаиде (Австралия) в 1968 г., был представлен первый вариант «Почвенной карты мира». Карта получила одобрение участников конгресса, которые рекомендовали приступить к ее публикации немедленно. Выпуск первых листов карты планировалось начать с 1970 г. В 1974 г. почвенная карта мира и отдельный список примечаний к применяемым в ней типам почв были представлены на юбилейном X-м международном конгрессе почвоведов, проходившем в Москве.

Проект «Почвенная карта мира» был инициирован советскими учеными для сохранения своего ведущего положения в мировом почвоведении. Они уже были наработке в создании почвенных карт, поэтому чувствовали себя уверенно в борьбе с конкурирующими зарубежными научными школами. Значимый удар по участию советских ученых в этом проекте был нанесен, когда Почвенный институт был передан из структуры Академии наук СССР в состав Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук. Советские ученые, не имея возможности продолжить полноценные работы по созданию почвенной карты мира, сосредоточили свое участие на выработке легенды к карте и номенклатуры почв мира, отстаивая использования традиционных русских названий почв. Для исправления создавшегося положения В.А. Ковда инициировал создание отдельного научного учреждения в структуре Академии наук СССР, занимающегося передовыми почвенными исследованиями. Согласно решению Президиума АН СССР от 9 октября 1970 г. в г. Пущино был создан Институт агрохимии и почвоведения АН СССР (ныне – Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН).

УДК 631.4

АГРОЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ГРУППИРОВКА ПОЧВ ВЕРХНЕВОЛЖСКОЙ
НИЗМЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ АГРОПОЛИГОНА «ГУБИНО»)

Шилов П.М., Лозбенев Н.И.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, shilov_pm@esoil.ru

Основу для выделения агроэкологических групп и видов земель составляет инвентаризация топографических и литологических условий агроландшафта. Это приобретает крайнюю необходимость в случае пестрого характера рельефа и литологического строения почвообразующих пород. Наиболее оперативно получить информацию о строении и составе пород позволяют неинвазивные геофизические методы, адаптированные к малоглубинным исследованиям почв – электротомография, электромагнитное индукционное профилирование и георадиолокация.

Цель работы – выполнить классификацию видов земель с учетом дистанционной инструментальной диагностики условий мезорельефа и почвообразующих пород. Объект исследования – многолетний научно-производственный опыт «Трансекта» на территории агрополигона «Губино» Всероссийского научно-исследовательского института мелиорируемых земель (ВНИИМЗ, пос. Эммаусс). Почвенный покров трансекты сформирован на двучленных отложениях – флювиогляциальных супесях и песках времен таяния московского оледенения, мощностью от 40-50 см до нескольких метров, подстилаемых моренными суглинками.

Электромагнитное профилирование двучленных отложений выполнено аппаратурой GEONICS EM38-MK2. Техническое устройство данной установки обеспечивает зондирование на эффективных глубинах 0,375 м; 0,75 м и 1,5 м. На трансекте выполнено

профилирование с шагом 7 м с регистрацией в непрерывном режиме электропроводности почв.

Между мощностью песка и электропроводностью в слое 0-1,5 м наблюдается нелинейная экспоненциальная зависимость. Электромагнитное профилирование на трансекте выполнено дважды с полным соответствием даты съемки (июнь 2022 и июнь 2023 гг) и соответствием позиционирования. Таким образом проверялась гипотеза о сравнении картины распределения электропроводности почв на трансекте в годы с разной нормой атмосферного увлажнения.

Полученные данные профилирования интерполированы методом ординарного кригинга с шагом сетки 10 м. Растры свойств рельефа и растры электропроводности почв приведены к одинаковому разрешению и пространственному охвату. При помощи метода главных компонент получены два фактора, описывающие варьирование топографических и литологических условий на трансекте. Полученные компоненты использованы для неуправляемой классификации и автоматического картографирования видов земель.

В результате одновременного геофизического обследования обнаружена высокая степень корреляции ($r=0,9$) значений электропроводности и пространственного рисунка для 2022 и 2023 гг. В анализируемые сроки на трансекте прослеживаются разные агроклиматические условия и условия почвенно-грунтового увлажнения. В одну и ту же фазу вегетации в 2023 году УГВ оказался ниже на 50 см, чем в 2022 году. Можно утверждать, что картина изменчивости электропроводности отражает варьирование консервативного фактора почвообразования – мощности двучленных отложений: чем выше электропроводность в слое 0-1,5 м, тем меньшую мощность имеет двучлен, и наоборот.

Первый фактор прямо пропорционально связан с электропроводностью почв в слое 0-1,5 м, то есть значения первого фактора увеличиваются с уменьшением мощности двучлена (моренные суглинки ближе подстилаются к поверхности). Второй фактор прямо пропорционально связан с топографическим индексом превышений, обратно пропорционально связан с топографическим индексом влажности.

Комбинация значений этих факторов и их интерпретация при помощи свойств рельефа и почвообразующих пород позволяют упорядочить виды земель по шкале на рисунке 1Б. На одном краю этой шкалы находятся участки трансекты в вогнутых элементах мезорельефа с большой мощностью двучлена. На противоположной краю шкалы находятся участки выпуклые с малой мощностью двучлена. Обнаружено соответствие между картой видов земель, составленной на основе автоматической неуправляемой классификации (рис. 1Б), и картой земель, составленной традиционным способом (рис. 1В) – на основе почвенно-ландшафтного картографирования и группировки земель по В.И. Кирюшину. Наибольшая степень сходства характерна для литогенных и слабополугидроморфно-литогенных земель с почвами на маломощном двучлене (< 50 см), высокой величине индекса ТРІ. В меньшей степени соответствуют на картах сильнополугидроморфно-литогенные и среднеполугидроморфные земли (на севере трансекты).

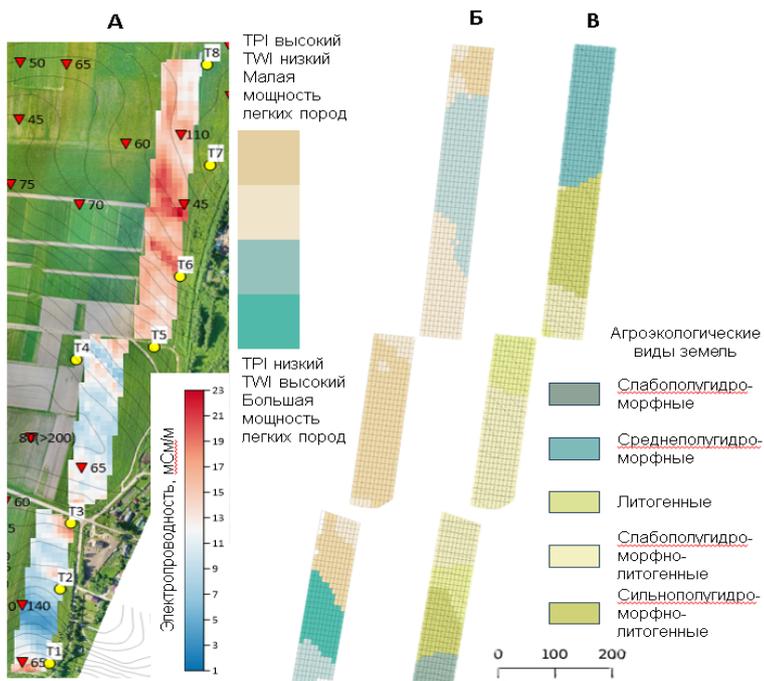


Рисунок 1. Карты видов земель трансекты агрополигона «Губино»: А) электропроводность почв в слое 0-1,5 м в июне 2023 г, Б) составленная при помощи неинвазивной диагностики, В) составленная традиционным подходом группировки почв по В.И. Кирюшину

(Z) КОМИССИЯ ПО ОБРАЗОВАНИЮ В ПОЧВОВЕДЕНИИ

УДК 631.42

ПРЕПОДАВАНИЕ ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Абдулханова Д.Р., Макаров О.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, dina_msu@mail.ru

Как известно, кафедра эрозии почв (в настоящее время – эрозии и охраны почв) на факультете почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова была открыта в январе 1982 г. (заведующий кафедрой – академик М.С. Кузнецов). Создание первой в России кафедры эрозии почв открыло новую страницу в области подготовки специалистов в области эрозиоведения. На кафедре был разработан учебный план подготовки специалистов-эрозиоведов и начата его реализация. При этом в основу указанного плана было положено представление об эрозиоведении как о самостоятельном разделе почвоведения, который находится на стыке с гидрологией, геоморфологией, гидро- и аэромеханикой, земледелием, мелиорацией почв и лесоводством.

В настоящее время преподаватели кафедры читают по эрозиоведческой проблематике общефакультетские курсы лекций (студентам 3-его курса – «Эрозия и охрана почв», студентам магистратуры – «Почвозащитные системы земледелия и охрана почв»), проводят спецкурсы «Физические основы эрозии почв», «Почвенно-экологические аспекты устойчивого землепользования», «Современные методы исследования деградации почв», «Экология агроэкосистем», «Овражная эрозия почв», «Основы адаптивно-ландшафтного землепользования, ландшафтного планирования и проектирования агроландшафтов» и др. Сотрудниками кафедры (М.С.Кузнецовым и Г.П.Глазуновым) выпущен учебник по общефакультетскому курсу лекций «Эрозия и охрана почв» (1996, 2004, 2019), который, по мнению рецензентов, не имеет аналогов в отечественной литературе, а также 8 учебных пособий по основным спецкурсам, спецпрактикуму и летней учебной практике по эрозии почв.

Разумеется, основные направления подготовки специалистов-эрозиоведов в Московском университете отражают современный уровень развития эрозии почв в нашей стране и в мире. Целью проведённых исследований явилось определение перспектив развития образовательной деятельности в области эрозиоведения в Московском университете. Одним из перспективных научных направлений развития эрозиоведения представляется проведение исследований по теме «Тренды развития процессов водной и ветровой эрозии почв на юге Европейской территории России в условиях изменения климата». Эти работы кафедра эрозии и охраны почв планирует провести совместно с представителями географического факультета Московского университета (Лаборатория эрозии почв и русловых процессов).

Выполнение этой работы подразумевает:

- а) создание базы данных о климатических изменениях на юге Европейской территории России за последние 50 лет;
- б) определение основных причин трендов изменения темпов эрозии почв в регионе;
- в) оценку климатических изменений, влияющих на развитие водной и ветровой эрозии, на юге Европейской территории России за последние 30-50 лет;
- г) разработку модели эрозии, учитывающей изменение климата;
- д) оценку темпов водной и ветровой эрозии на ключевых участках, расположенных в разных частях региона исследования;
- е) выявление трендов изменения темпов водной и ветровой эрозии на основе сопоставления данных, полученных при выполнении проекта и опубликованных и архивных данных по оценке водной и ветровой эрозии в 1970-1980-х годах и прогнозные оценки развития эрозионных процессов при различных климатических сценариях.

ж) разработку рекомендаций по улучшению управления почвенными ресурсами и предотвращению эрозии в условиях изменения климата на юге Европейской территории России.

Соответственно, планируется и разработка нового учебного курса для студентов кафедры эрозии и охраны почв - «Водная и ветровая эрозия почв в условиях изменения климата». Указанный спецкурс должен стать одним из элементов образовательного направления на факультете почвоведения Московского университета, посвященного освещению вопросов углеродного баланса и устойчивости экосистем (включая агроэкосистемы).

Еще одним, перспективным научным направлением, развивающимся на кафедре эрозии и охраны почв, является изучение оценки влияния полимеров на противоэрозионную устойчивость почв. Как известно, для улучшения физико-химических почвы/грунта активно используют химические связующие компоненты, в том числе на основе полимеров. Так полимеры линейного строения, природные (полисахариды) и синтетические (поливиниловый спирт, полиакрилонитрил и др.) и их комбинации, показали себя эффективными структурообразователями почвы. Повышение эффективности действия указанных полимеров при одновременном снижении стоимости их производства является важнейшей научно-практической задачей. Таким образом, разработка нового спецкурса «Полимеры и противоэрозионная стойкость почв» является одной из важнейших задач образовательной деятельности кафедры эрозии и охраны почв.

В последние годы на стыке эрозиоведения и микробиологии почв активно развивается научное направление, которое можно обозначить как «Микробиологический анализ эродированных почв». Так, изучаются – состав и структура микробоценозов почв различной степени смывости в различных биоклиматических условиях. Подготовка специального курса «Микробиология эродированных почв» также находится в числе приоритетных направлений образовательной деятельности кафедры.

Наконец, интереснейшим научным направлением кафедры эрозии и охраны почв является микроморфологическое изучение почв различной степени смывости. В выполненных исследованиях показано, что эрозионные процессы меняют микроструктуру почвы, ориентацию глинистой плазмы, расположение «скелета» минеральных зерен в агрегатах. Разработка спецкурса «Микроморфология эродированных почв» - еще одна образовательная задача кафедры эрозии и охраны почв.

Предполагается и корректировка учебного плана летней учебной практики студентов по эрозии и охране почв, которая сейчас проводится на базе УО ПЭЦ «Чашниково» (Московская область, городской округ Солнечногорск) в формате объединенной практики «Физики почв с основами эрозии почв». В первую очередь, после возвращения в Московском университете подготовки специалистов-почвоведов по программе специалиста планируется формирование самостоятельной практики по эрозии почв. Среди новых элементов учебной практики – изучение эрозионных процессов при поливе по бороздам, орошение модельных почвогрунтов на склонах-конструкциях заданной крутизны и т.д.

УДК 631.47+378.147.34

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Кириллова В.А.¹, Горбачева А.Ю.¹, Курбанова Ф.Г.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail kirillova.msu.dpo@mail.ru;

²Высшая школа экономики, Москва, e-mail fkurbanova@hse.ru

В конце XIX века Василий Васильевич Докучаев предложил изучать почву как самостоятельное природное тело, качественно отличающееся от всех иных тел природы. Однако, как в России, так и во всем мире до сих пор почва недостаточно широко представлена в учебных программах по естественным наукам, как в ВУЗах, так и в школах.

По мнению ряда ученых причина может заключаться в сложности науки о почве и общем недостатке знаний в почвоведении у преподавателей на разных уровнях образования (Takashi Kosaki; Rattan Lal; Laura Bertha Reyes Sánchez, 2020). Почвоведение - междисциплинарная наука, требующая понимания различных аспектов в области естествознания. В свою очередь методы активного обучения могут существенно повысить эффективность преподавания почвоведения, способствуя более глубокому пониманию материала, развитию практических навыков и стимулируя активное участие студентов в учебном процессе. Студенты вынуждены активно применять знания, обучаясь через опыт, практические задания и собственное взаимодействие с материалом. Методы активного обучения стимулируют студентов к анализу информации, формулированию гипотез, критическому мышлению и самостоятельному решению проблем. Это существенно для успеха в области естествознания, где важно умение обосновывать свои выводы и доводы. Кроме того, методы активного обучения помогают студентам развивать навыки решения проблем, коммуникации, сотрудничества и самостоятельности, которые востребованы в профессиональной деятельности.

Методы активного обучения принято разделять на две большие группы: имитационные и неимитационные (Федина, 2008). Среди неимитационных методов важнейшую роль играют практикумы и демонстрационные наборы. Проведение практических экспериментов, таких как экспресс тестирование почвы для определения pH почвы, содержания питательных веществ, анализа текстуры почвы и др. является неотъемлемой частью образовательного процесса. Демонстрационные наборы по почвоведению могут включать почвенные образцы, монолиты. Их использование позволяет учащимся непосредственно наблюдать и анализировать различные свойства почвы на месте, самостоятельно исследовать и анализировать свойства почвы с последующим обсуждением работы с преподавателем. Важной составляющей неимитационных методов являются также проблемные лекции, семинары, круглые столы и тематические дискуссии. Для их реализации кроме использования мультимедийных презентаций и видеороликов для объяснения сложных концепций почвоведения актуально привлекать интерактивные онлайн-инструменты. Особую роль при реализации перечисленных методов может играть место проведения занятий. Групповые выезды на зональные объекты, фермы, сады помогут стимулировать интерес студентов, обеспечить взаимодействие и обмен опытом между ними, а также дать возможность более глубокого усвоения материала. Организация групповых проектов также способствует формированию коммуникативных и коллективных навыков. Проведение дискуссий, дебатов и критических обсуждений среди студентов способствует развитию критического мышления, способности аргументации, а также позволяет учащимся выработать собственные точки зрения и подходы к решению проблем в области почвоведения. Приглашенные докладчики, например, почвоведы НИИ, фермеры или управленцы в области природопользования и сельского хозяйства могут сделать проведение дискуссий и дебатов более продуктивным, а также повысить мотивацию студентов. Имитационные методы активного обучения в свою очередь делятся на игровые и неигровые. Игровые методы активного обучения - это эффективный подход к обучению, который включает в себя использование игр, симуляций и других игровых элементов для улучшения усвоения материала студентами. Такие методы позволяют стимулировать интерес учащихся, повысить мотивацию к обучению, развить коллективный дух и способствуют более эффективному усвоению знаний. Примером реализации данного метода являются соревнования по спортивному почвоведению. Так, уже с 2012 года проводятся международные соревнования по описанию почв (Soil Judging contest). Программа соревнований включает цикл лекций и практических занятий (мастер-классов), на которых участники ознакомятся с правилами проведения соревнований, описания почвенных разрезов, принципами диагностики и идентификации генетических горизонтов и почв. Участники получают практические навыки описания почвенных разрезов по

международным методикам. Как правило, в течение трёх дней участники описывают четыре-восемь почвенных профилей сначала вместе с тренерами и опытными лекторами, а затем самостоятельно - в команде и индивидуально (Руководство для проведения соревнования..., 2018). Данные соревнования включены в практику 1го года факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, проводятся в Волгоградском государственном университете (Гордиенко, 2020). В 2022 году состоялись Первые всероссийские соревнования по описанию почв и ландшафтов, где принимали участие студенты и аспиранты из восьми разных ВУЗов России. Применение метода кейсов при изучении почвоведения может быть также полезным для студентов, так как часто требуется анализировать сложные ситуации, принимать решения на основе данных и собственного опыта. Кроме того, обсуждение кейсов в группе или на семинарах способствует обмену мнениями, кооперации и развитию аналитических способностей студентов. Таким образом, игровые методы помогают сделать учебный процесс интересным и запоминающимся, что в конечном итоге способствует повышению качества образования.

Применение активных методов для преподавания почвоведения в высшей школе, поможет сделать почвоведение более увлекательным, динамичным и создаст вовлеченную среду обучения. Их внедрение станет более доступным при наличии пособий, наглядно описывающих реализацию учебного процесса, что в свою очередь повысит уровень знаний в области методов преподавания со стороны преподавателей.

УДК 631.42

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Макаров О.А., Цветнов Е.В., Абдулханова Д.Р., Карпова Д.В., Чекин М.Р., Крючков Н.Р.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, oa_makarov@mail

Анализ теоретических исследований и практической деятельности позволяет выделить следующие разновидности эколого-экономической оценки деградации земель:

- оценку экологического ущерба/вреда (фактического, предотвращенного, накопленного, вероятного и т.д.), связанного с загрязнением, деградацией и захламлением почв и земель
- оценку величины ставок экологического налога при загрязнении, деградации и захламлении земельных участков/экологических платежей при загрязнении и захламлении земельных участков;
- корректировку стоимости земель (использование экологических поправочных коэффициентов к стоимости земельных участков, разработка специальных методов оценки загрязненных, деградированных и захламлённых земель);
- экономическую интерпретацию экосистемных сервисов (услуг).

Целью исследований явились - анализ различных методических приёмов эколого-экономической оценки деградации земель, их апробация для конкретных объектов и последующая систематизация как с позиции соотношения получения прибылей и причинения убытков, связанных с природопользованием, так и отнесения этих разновидностей к направлениям экономической науки, по-разному определяющим роль экономической деятельности человека в экологических системах.

В соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) проводился расчет величины ущерба от деградации земель агрохозяйств, расположенных в различных регионах Российской Федерации – в Волгоградской, Белгородской, Калининградской и Пензенской областях. В качестве показателей деградации земель агрохозяйств выступили – уменьшение содержания обменного калия, уменьшение содержания подвижного фосфора, уменьшение содержания гумуса, изменение показателя кислотности почв. Кроме того, для Волгоградской области использовался показатель

осолонцевания земель, а для Белгородской области – эродированность почв. Выполненные расчеты свидетельствует о значительном разбросе величин удельного суммарного ущерба от деградации почв и земель в различных субъектах Российской Федерации. Высокие значения указанного показателя были обнаружены для чернозёмных почв Белгородской и Пензенской областей, что может быть обусловлено значительными величинами нормативной стоимости земель (в качестве которой в данном случае выступала их кадастровая стоимость) для этих территорий. Существенная величина удельного суммарного ущерба для Калининградской области, который рассчитывался только по показателям агроистощения почв (увеличение кислотности, уменьшение содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия), прежде всего, выявляет недостатки агротехнических приемов.

На территории города Москвы и города Подольска Московской области были изучены почвы 6-ти участков, расположенных в функциональной зоне производственного назначения и территории транспортной инфраструктуры (то есть, все исследуемые участки испытывают техногенную нагрузку достаточно высокого уровня в силу своего функционального назначения). Была определена величина вероятного ущерба, который может быть нанесен почвам исследуемых участков в ближнесрочной перспективе в результате их предполагаемого загрязнения при существующем уровне техногенной нагрузки (в данном случае этот экономический показатель отражает риск загрязнения изучаемых городских почв тяжелыми металлами). Для всех участков величина фактического ущерба, нанесенного почвам загрязнением тяжелыми металлами, оказалась ниже величины вероятного ущерба, что может свидетельствовать о существующем потенциале дальнейшего загрязнения почв тяжелыми металлами.

Исследования по корректировке кадастровой стоимости земель проводились на территории Западного административного округа г. Москвы, где было выбрано три района (Крылатское, Филевский парк и Очаково). Корректировка стоимости земель сопровождалась расчетом показателя потери экологического качества (ППЭК) почв, который основан на пятиуровневой шкале потери экологического качества ОПС (шкала выведена с учетом уравнения Ричардса, описывающего логистическую форму зависимости между качеством экосистемы и нагрузкой на нее). Так, почвы, обладающие благоприятным состоянием (1-й и 2-й уровни потери экологического качества), осуществляют устойчивое функционирование в наземных экосистемах. После расчета ППЭК почв осуществлялась снижение кадастровой стоимости земельных участков: максимальное снижение составляло 71% от исходной величины стоимости.

Экономическая оценка экосистемных услуг почв проводилась для территории УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова. Блок услуг прямого обеспечения ресурсами включал в себя функцию почв «Среда обитания, аккумулятор и источник вещества и энергии для организмов суши», которая в качестве конкретной услуги проявляется через почвенное плодородие. Услуги защиты обеспечивались посредством выполнения таких функций почв, как «Защитный барьер биогеоценоза» (на изучаемой территории было отмечено незначительное загрязнение тяжелыми металлами, что позволило зафиксировать услугу защиты человека почвой от последствий данного типа загрязнения). Культурные услуги почв УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова были связаны с образовательной и научной деятельностью на этой территории. Деградация почв может послужить основанием для того, чтобы организовать серию выездов студентов вне базы для ознакомления с недеградированными почвами (стоимость организации таких выездов является адекватным экономическим интерпретатором искомой образовательной услуги).

Проведенная апробация некоторых разновидностей эколого-экономической оценки деградации земель лишней раз подтвердила значительные возможности этого вида оценки земельных ресурсов и показала высокую степень разработанности практических методик и приёмов, позволяющих не только рассчитывать величину экономического урона, который наносится почвенному покрову и земельным ресурсам негативными процессами, но и

определять перспективы дальнейшего использования территорий, оптимизировать систему налогообложения. Приведенные примеры апробации затрагивают и земли сельскохозяйственного назначения (агрохозяйства в различных регионах Русской равнины, включая УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова), и городские земли Москвы и Подмосковья. Вообще, анализ системы эколого-экономической оценки деградации земель показывает преобладание тех её разновидностей, которые сопряжены с определением ущерба/вреда (фактического, предотвращенного, накопленного, вероятного и т.д.). Методы эколого-экономической оценки земель, где проводится сопоставление доходов и убытков (методика Й. фон Брауна, корректировка стоимости земель на основе сведений об их экологическом состоянии), являются наиболее сложными для реализации, но самыми перспективными с практической точки зрения.

Следовательно, оценку экологического ущерба со значительной степенью определенности можно отнести к вопросам экономики окружающей среды. К вопросам, изучаемым экологической экономикой, следует отнести оценку экосистемных сервисов почв и земель (представление об экосистемных сервисах базируется на концепции природного капитала), корректировку стоимости земель и оценку экологического налога/экологических платежей, которые отражают стремление человека к бережливости через экономическую эффективность и достижение экологически приемлемого экономического развития. Наконец, методики Й. фон Брауна и оценки вероятного риска загрязнения, деградации и захламления почв, позволяющие на основе эколого-экономического прогноза сократить отрицательное воздействие экономической деятельности человека на среду его обитания, можно считать относящимися к направлению зеленой экономики.

УДК 631.47

С ЧЕГО НАЧИНАЕТСЯ ОХРАНА ПОЧВ: РОЛЬ СОЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

Неаман А.А.

Университет Тарапака, Арика, Чили, e-mail: alexander.neaman@gmail.com

Данная работа строилась на предположении о том, что уровень заботливости фермеров по отношению к почве обусловлен уровнем их знаний в области почвоведения. Данные для анализа были собраны посредством опросов. В нашу выборку вошли 150 фермеров из трех регионов Чили. По итогам исследования выяснилось, что фермеры-агрономы обладают высокими знаниями в области почвоведения, однако демонстрируют низкий уровень заботы о почве. И наоборот, фермеры-не агрономы показывают высокий уровень заботы о почве, но низкий уровень знаний в области почвоведения. На первый взгляд, наши результаты кажутся парадоксальными. Чем же можно объяснить тот факт, что фермеры, слабо владеющие знаниями о почве, проявляют большую заботу о ней (Рисунок 1)? Дело в том, что почти все фермеры-не агрономы выросли в сельской местности, и с детства впитали необходимость заботливого отношения к почве. А фермеры-агрономы в большинстве своем оказались городскими людьми, оторванными от почвы и соответственно мало заботящимися о ней. Таким образом, наше исследование показало, что для внедрения методов устойчивого управления почвенными ресурсами необходимо найти средства повышения уровня заботливого отношения к почве со стороны агрономов, и расширения знаний в области почвоведения у не агрономов.

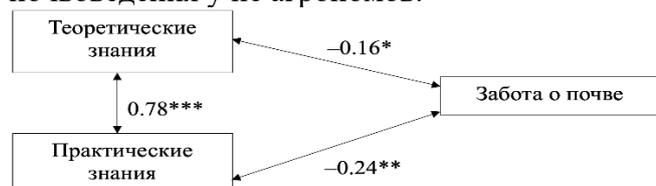


Рисунок 1. Коэффициенты корреляции Пирсона (r) и уровень значимости (p):

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

УДК 372.8; 374.71

РОЛЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ В ОБРАЗОВАНИИ

Подольян Е.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал
Федерального исследовательского центра «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г.
Тверь, podolian.ea@yandex.ru

В работах Вашукевич Н.В., Рахлеевой А.А., Старицыной И.А., Шевченко И.А. и других авторов отмечается недостаточный уровень почвенного образования в общеобразовательных учреждениях. При этом в проведенном нами опросе учителей биологии и географии школ Тверской области (66 человек) лишь 44 % считают, что в программе школьного курса естественных наук уделяется недостаточное внимание почвоведению. 65 % опрошенных учителей убеждены, что нет необходимости включения в школьную программу дополнительных тем, связанных с почвоведением. Среди тех, кто положительно отвечал на данный вопрос (35 %), считают, что важно уделять больше внимания проблемам почв в таких разделах, как «Почвенная среда обитания», «Природные зоны», «Экология», «Биосфера», «Жизнь организмов на планете Земля», а также включение таких тем, как «Почвы России», «Почвы региона», «Охрана почв», «Формирование почв», «Структура почвы», «Сельское хозяйство», «Земледелие», «Практикум по составу почв».

В сложившихся условиях требуется повышение уровня знаний о почвах, которое будет способствовать развитию науки и техники, а также обеспечению продовольственной безопасности страны. «В нынешнее время дети ничего не знают о почвоведении, плохо разбираются в почве и её видах. Это знание необходимо получить, так мы увеличим количество сельскохозяйственных рабочих и уровень образованности, осведомленности учащихся.» - учитель биологии города Ржева. Таким источником знаний могли бы выступать дополнительные занятия, но, как определяют сами учителя, для внеурочных часов у них не остаётся времени. Лишь немногие (25 % опрошенных) организуют внеклассную работу по элективам, индивидуальным исследовательским проектам, открытые уроки с приглашением работников сельского хозяйства.

Таким образом, в ходе освоения общеобразовательной программы наблюдается пробелы в знаниях экологии несмотря на то, что почва является ключевым звеном биосферы. Выпускники школ неполностью усваивают понимание экологических процессов Земли, что противоречит принципам устойчивого развития.

Оказать поддержку в восполнении сложившегося дефицита почвоведческих знаний могут сотрудники научно-исследовательских организаций.

Так, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель (ВНИИМЗ) постоянно проводит экскурсии для учащихся СПО и ВО, учебные практики, семинары для работников сельскохозяйственной отрасли, «День поля». Сотрудники ВНИИМЗ стали инициаторами открытия тверского регионального отделения Общества почвоведов имени В.В. Докучаева, в рамках которого также планируется проведение образовательных мероприятий.

В 2023 г. в стенах ВНИИМЗ прошла со студентами тверских вузов «Практический курс «Агрохимия и биотехнология»». Среди нескольких каналов распространения информации о событии (стенды в вузах, беседы с преподавателями данных заведений, интернет-площадки) наибольший успех имело размещение анонса на веб-страницах вузов в социальной сети «ВКонтакте» (<http://vk.com>). В ходе встречи участники получили теоретические знания о химических процессах сельскохозяйственных почв, приёмах повышения плодородия, а также выполнили несколько лабораторных работ. По результатам данной встречи кадровый состав ВНИИМЗ пополнился 3 новыми молодыми сотрудниками. Прошли производственную практику студенты непрофильной специальности («Химия»), где они

ознакомились экологической токсичностью соединений химического синтеза, их влиянием на почвы и другие компоненты экосистем.

УДК 631.46

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ 06.03.02 «ПОЧВОВЕДЕНИЕ»

Семаль В.А.^{1,2}

¹Дальневосточный федеральный университет;

²ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, semal.va@dvfu.ru

Компетенции в качестве результата образования рассматриваются как главные целевые установки в реализации федеральных государственных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО), как интегрирующие начала «модели» выпускника.

Современные социально-экономические условия требуют подготовки эффективных специалистов на рынке труда, что предполагает изменение целевых установок профессионального образования в целом. Учитывая то, что в настоящее время происходит выход на первый план вопроса продовольственной безопасности и суверенитета РФ в этой области, особенно актуальным становится модернизация процесса профессиональной подготовки специалистов в области почвоведения. Несовершенство кадровой политики современных предприятий и образовательных организаций негативно влияет на востребованность выпускников ВУЗов по направлению «Почвоведение».

Работодателям нужны сотрудники, готовые к самостоятельному включению в производственные процессы, способные практически решать встающие перед ними жизненные и профессиональные задачи. Это зависит не только от полученных знаний, умений и навыков в процессе обучения, но и от содержания профессиональных компетенций, которые сформированы у будущих почвоведов.

Формирование у студентов компетенций, востребованных рынком труда, является актуальной задачей современных ВУЗов, что подтверждается тем, что новое поколение федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) основано на идеологии формирования содержания образования «от результата», а их системообразующим компонентом становятся компетенции.

Сравнительный анализ теории и практики подготовки специалистов профиля «почвоведение», изучение потребностей предприятий в этих кадрах позволили выявить следующие противоречия: между запросами государства, общества, работодателей в компетентных специалистах и недостаточным уровнем сформированности их профессиональных компетенций для выполнения профессиональной деятельности; между необходимостью формирования и развития у специалистов профиля «почвоведение» профессиональных компетенций и традиционными подходами к организации и реализации процесса их подготовки при сетевом взаимодействии ВУЗа и предприятий, применение которых обусловлено недостаточной разработанностью организационно-педагогических условий, учитывающих особенности реального производства; между потребностью в формировании профессиональных компетенций специалистов и недостаточным дидактическим обеспечением современной образовательной среды ВУЗа, способствующей пересмотру предметного содержания учебных дисциплин и изменению образовательных технологий.

Выявленные противоречия позволяют определить проблему исследования, которая заключается в необходимости выявления теоретических, организационных и технологических основ формирования профессионально значимых компетенций будущих специалистов-почвоведов в современном ВУЗе с целью обеспечения уровня

подготовленности специалиста в соответствии с требованиями профессионального и образовательного стандартов.

Процесс формирования профессионально значимых компетенций специалистов-почвоведов в современном ВУЗе будет эффективным, если:

- теоретически обоснованы структура и содержание профессионально значимых компетенций специалистов почвоведов и разработана модель их формирования;
- уточнены и обоснованы организационно-педагогические условия, обеспечивающие формирование профессионально значимых компетенций специалистов-почвоведов;
- получили дальнейшее развитие формы взаимодействия студентов и преподавателей, направленные на развитие само- и взаимооценки результатов обучения;
- определены основные критерии, показатели и уровни сформированности профессионально значимых компетенций специалистов почвоведов.

Очень часто возникает неправомерное использование терминов «профессиональная компетенция» и «профессиональная компетентность». Смысловую разницу между этим терминами можно увидеть у А.В. Хуторского: профессиональная компетенция – отчужденные от личности навыки, знания, ценности, тогда как профессиональная компетентность – степень владения знаниями и навыками. То есть на период обучения необходимо иметь в виде реализации дисциплин те профессиональные компетенции, которые в дальнейшем по окончании обучения должны проверяться профессиональной компетентностью у работодателя. Поэтому необходимо осуществить анализ состояния проблемы формирования профессионально-значимых компетенций будущих специалистов-почвоведов, найти критерии, показатели и диагностический инструментарий, позволяющие оценить уровень сформированности профессионально значимых компетенций специалистов профиля «Почвоведение» в ВУЗе.

Необходимо на основе выявления особенностей профессиональной деятельности специалистов-почвоведов обосновать и разработать структурно-функциональную составляющую модели процесса формирования профессиональных компетенций специалистов по направлению подготовки 06.03.02 Почвоведение при изучении дисциплин профессионального цикла.

Одним из механизмов проверки формирования профессиональной компетентности является психологическое тестирование, направленное на выявление уровня выраженности того или иного психологического параметра, влияющего на успешное освоение профессиональной компетенции и выражении ее в профессиональной компетентности. Такими тестами могут быть: тест критического мышления Старки, тест на логическое мышление М.

Войнаровского, тест на профессиональную временную перспективу будущего ОФТР, шкала академической мотивации, опросник осознанной регуляции учебной деятельности (ОРУДС), шкала оценки академической прокрастинации (PASS), тест Кеттела.

Необходимо вне зависимости от области знаний, в которых формируются профессиональные компетенции:

- составить более четкое представление о механизме организационных изменений в образовательном процессе, направленном на знание региональной специфики при реализации производственных процессов, определяющих жизнедеятельность организаций;
- углубить свои знания о факторах, обеспечивающих успешное проведение учебно-воспитательного процесса, связанного с организационными изменениями как базовой, так и вариативной части стандарта;
- определить приоритетность задач, которые необходимо решать в процессе формирования знаний, умений и практических навыков;
- разобраться с важнейшими аспектами организационных изменений, которые обеспечат на стадии реализации проводимых преобразований в учебно-воспитательном процессе – формирование конкурентоспособного специалиста.

УДК 502.12

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗНАНИЙ О ПОЧВЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ПРОСВЕЩЕНИИ В ДАРВИНОВСКОМ МУЗЕЕ

Топунова И.В.

ГБУК Государственный Дарвиновский музей, Москва, topunovai@yandex.ru

Основоположник современного почвоведения В.В. Докучаев не только открыл почву как особое природное тело, которое является продуктом всех факторов почвообразования, но дал начало популяризации научного почвоведения, прикладывая значительные усилия, чтобы «свести все имеющееся научное богатство в одно органически связанное целое и изложить наивозможно популярным языком». Он дает этому емкое название «родиноведение». По инициативе и под руководством В.В. Докучаева создаются Нижегородский и Полтавский краеведческие музеи. В Дарвиновском музее можно познакомиться с почвой и её обитателями в зале «Многообразие жизни на Земле» на постоянной экспозиции «Саванна». В интерактивном центре «Познай себя – познай мир» в разделе «Кто живёт под корнями?» ребята могут посмотреть мультфильм «Путешествие дождевого червя» и получить информацию из программы «Обитатели почв». Но намного полезнее для экологического воспитания и интереснее для детей – это занятия в лаборатории и мероприятия, проводимые в музее на экологических праздниках для посетителей всех возрастов. В учебной лаборатории Дарвиновского музея проводится цикл занятий «Мир под микроскопом» для школьных и сборных групп. Одно из занятий - «Кто живёт у нас под ногами?» посвящено почве и её обитателям. Почва - уникальный и необычный объект. Участникам занятия всегда задается вопрос: что такое почва? На первый взгляд, кажется, что ответ на этот вопрос довольно простой. Но сформулировать исчерпывающий ответ сложно. Это говорит о том, что почва далеко не простое явление. Современные школьники, да и взрослые имеют довольно смутные и часто однобокие представления о строении и значении почвенного покрова на Земле. Большинство людей почва воспринимается как земля – однородный поверхностный слой, необходимый для получения урожая. Но при этом не задумываются, что почва невозполнимый и незаменимый ресурс, обеспечивающий жизнь человека на Земле. Почва – сложный объект для изучения. Почва является основой любой наземной экосистемы, но информация о ней в образовательных программах школ представлена очень кратко. На нашем занятии, которое длится 60 минут, мы рассказываем о науке почвоведении, образовании и разнообразии почв и знакомим посетителей с почвенной биотой. Занятие начинается обсуждением условий образования почв на Земле, приходя к выводу, что необходимы живые организмы, которые мы и будем рассматривать под микроскопом. Рассказ ведущего во время всего занятия сопровождается показом презентации. Далее следует рассказ об первых организмах-первопроходцах безжизненной территории – водорослях и лишайниках. Посетители рассматривают соответствующие препараты под микроскопом. И проводят эксперимент: взаимодействие лимонной кислоты и известняка, имитирующий взаимодействие лишайниковых кислот с почвообразующей породой. Этот опыт демонстрирует начальные стадии почвообразования, когда лишайники, разрушая горную породу, участвуют в первичном почвообразовании и «прокладывают дорогу» мхам и высшим растениям. Один из самых интересных моментов занятия – рассматривание под микроскопом живых инфузорий-туфелек и коловраток. Эти самые маленькие почвенные животные находятся в небольших емкостях в лаборатории. Каждому участнику на предметное стекло наносится 1-2 капли раствора со смешанной культурой. Пока идёт рассматривание этих животных, ведущий рассказывает о значении этих почвенных обитателей в почвообразовании. Следующие почвенные обитатели – черви. Ведущий рассказывает о разных типах червей, более подробно – о дождевых червях, а участники занятия изучают препарат. Затем идёт рассказ о почвенных членистоногих и их значении в природе: ракообразные, многоножки, насекомые. Последний препарат – это насекомое коллембола. Ведущий рассказывает и о других насекомых, например, о майском жуке и

медведке и об их адаптации к почвенной среде и роли в почвообразовании. В заключительной части занятия делается вывод, что живые организмы не только участвуют в образовании почвы, но и постоянно поддерживают её. Почва – это местообитание с уникальным биоразнообразием. Именно в почвах сосредоточены живые организмы в наземных экосистемах. Живых почвенных обитателей можно увидеть и на экологических праздниках «Всемирный день защиты животных» и «Международный день Земли», которые проводит Дарвиновский музей. В программах этих праздников всегда присутствуют демонстрационные и интерактивные занятия с использованием хищных растений, насекомых, рептилий, обитателей почв. Живой интерес у посетителей всех возрастов вызывают занятия «Школы юного почвовед-эколога», организованных совместно со школьным кружком Факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. На этом занятии можно увидеть беспозвоночных обитателей московских почв, собранных на Экотропе музея и на территории МГУ. Это насекомые: жужелицы, стафилины, щелкуны муравьи; ракообразные: мокрицы; многоножки: кивсяки и геофилы; моллюски: слизни и улитки; дождевые черви, панцирные клещи орибатида, многоножки. Обычно бывает около 15 представителей почвенной биоты. Животных помещают в чашки Петри и расставляют на столах. К каждой чашке ставится этикетка и лупа, а на столах устанавливается освещение. Сотрудники музея, участники кружка и студенты факультета почвоведения МГУ знакомят посетителей музея с представителями разных систематических групп живых организмов, обитающих в почве, их приспособленности к местообитанию, и их ролью в почвообразовании. В 2021 году на празднике «Международный день Земли» сотрудник кафедры биологии почв факультета почвоведения МГУ к.б.н. А. В. Якушев прочитал лекцию «Невидимый мир почвы». Лекция была посвящена разнообразию микроскопических обитателей почвы и их роли в поддержании плодородия почв и функционирования наземных экосистем. Посетители музея познакомились с разными почвенными животными и микроорганизмами. Лекция была проиллюстрирована уникальными фотографиями и видео почвенной биоты, снятыми автором под микроскопом. Впервые на этом празднике демонстрировались «Опыты с землёй». Опыты проводили инженер кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ И. В. Данилин и н.с. Дарвиновского музея к.б.н. И.В.Топунова. Опыты привлекли внимание множества посетителей разного возраста. Занятие началось с обсуждения со школьниками, что такое почва и зачем учёным её изучать? Какие свойства влияют на плодородие почв? Что нужно для роста растений? Как измерить различные показатели почв? Для экспериментов использовались 3 типа почв с разными свойствами: чернозём, дерново-подзолистая почва и солончак. В процессе демонстрации опытов были показаны количественные и качественные методы определения кислотности почв. Очень наглядно получилось показать способы определения содержания кальция и магния. Зрители познакомились с химической посудой и подготовкой почв для анализа. В заключение занятия проводилось определение гранулометрического, или механического состава почв. С помощью простой методики можно определить, какая почва – суглинистая или супесчаная. Некоторые любопытные посетители сами поучаствовали в этом эксперименте, не испугавшись быть испачканными почвой! Было проведено 3 сеанса опытов, каждый длился 40 мин. В 2023 году «Опыты с землёй» разработала и проводила н.с. отдела Экологии музея Атаманова Л.Г. Опыты с образцом почвы, взятой с Экотропы ГДМ продемонстрировали, что кроме твёрдой фазы почва содержит воздух и влагу. Из лекции посетители узнали, какие минералы содержатся в почвах, их свойствах, как минералы и горные породы попадают в почву. Самые любопытные посетители могли подержать различные минералы и породы в руках, рассмотреть почву и песок под микроскопом, а также проверить свойства глины, скатав из неё шарики и колбаски. Также зрители познакомились с живыми обитателями почв – жуком бронзовкой и его личинкой, и узнали о роли животных в почвообразовании.

Таким образом, почва, её свойства и обитатели привлекают внимание посетителей музея, а распространение знаний о почве очень важно для экологического просвещения и воспитания.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ. СИМПОЗИУМЫ

УДК 631.4

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И СОСТАВ МИКРОБИОМА ПОЧВ АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ КРИОЛИТОЗОНЫ

¹Е.В. Абакумов, ¹Е.Ю. Чебыкина, ¹Вэньзюань Вэнь, ²Сиджонг Янг, Сяодун Ву, С.Ю.

Евграфова

¹Санкт-Петербургский государственный университет, каф. Прикладной экологии, 1991787, Санкт-Петербург, 16-я линия В.О., д. 29, e_abakumov@mail.ru

²Northwest Institute of Eco-Environment and Resources (NIEER), Chinese Academy of Sciences (CAS)

³Институт леса ФИЦ КНЦ СО РАН

Биокосные взаимодействия в криогенных почвах характеризуются существенной спецификой по сравнению почвами других биоклиматических систем. В криолитозоне депонировано около половины глобального почвенного органического углерода, она играет непропорционально большую роль в потенциальных климатических изменениях. Ямальский регион и Цинхай-Тибетское плато являются типичными высокоширотными и высокогорными регионами распространения многолетнемерзлых пород (ММП), и в обоих регионах темпы потепления примерно в два раза превышают среднемировые. Потепление климата ускоряет темпы деградации ММП, вызывает трансформацию экосистем, при этом усиливая микробное разложение органического углерода и высвобождение парниковых газов. Однако микробные механизмы разложения органического вещества до сих пор остаются слабоизученными, что представляет собой серьезное препятствие для прогнозирования влияния процессов высвобождения углерода мерзлотной толщи на изменение климата. Исследования микробиома в мерзлотных почвах направлены на выявление связей и механизмов микробных циклов углерода и азота, приводящих к изменению климата. Нами изучены параметры системы органического вещества и

микробиома мерзлотных почв указанных регионов. Установлено, что антропогенное воздействие существенно трансформирует микробиом мерзлотных почв, включая его таксономический состав и функциональные особенности, что приводит к изменению интенсивности эмиссии климатически активных газов из различных горизонтов почв. Термические особенности ММП и история их формирования в различных регионах придают индивидуальные свойства автохтонному микробиому различных кластеров криолитозоны, что проявляется и при его антропогенной трансформации. Установлено, что ключевыми причинами диверсификации микробиома криогенных почв являются: агрогенная трансформация почв, почвенный пирогенез, коренное изменение экосистем в связи с горной добычей и урбанизация экосистем. Любое экзогенное нарушение приводит трансформации почвенных экологических ниш и, в большом числе случаев - к аллохтонной трансформации микробиома. В докладе приводятся сведения о консервативных и динамических компонентах микробного сообщества и о динамике метаболической активности микробиома – ключевого компонента специфических биокосных тел криобиосферы – мерзлотных почв. Анализируются также данные о минерализационной устойчивости и степени биохимической стабилизации органического вещества криогенных почв, расположенных в различных географических секторах криопедосферы Земли. Работа выполнена при поддержке РФФ № 24-44-00006

УДК 631.4

ТВЕРДОФАЗНАЯ ПАМЯТЬ ПОЧВ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ И РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА.

Алексеев А.О.¹, Алексеева Т.В.¹, Малышев В.В.¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail: alekseev@issp.psn.ru

В настоящее время проблему палеопочвенного изучения природы отличает довольно фундаментальная степень разработанности как в географическом, так и хронологическом аспектах. Способность почв как особых природных тел, отражать, записывать и сохранять в своих устойчивых твердофазных свойствах особенности формировавших их процессов была отмечена еще В.В. Докучаеву, а в 70-х годах прошлого века получила развитие концепция «памяти почв», как одна из общих и фундаментальных характеристик почв и педосферы (Таргульян В.О., Соколов ИА., 1978, Память почв, 2008). На протяжении геохимической истории ландшафтов изменения климата влекут за собой изменения в соотношении скоростей выветривания, что в свою очередь отражается на направленности почвообразовательного процесса и накопления различных твердофазных продуктов функционирования почв. К числу важнейших диагностических свойств динамики условий почвообразования относятся состояние минеральных и органоминеральных компонентов почвы. Наши исследования посвящены развитию системы минералогических и геохимических показателей биокосных взаимодействий в почвах для достижения максимальной достоверности проводимых палеореконструкций базирующихся на твердофазной памяти почв. В последние годы развитие палеопочвоведения в мире идет по пути перехода из области качественного анализа на основе сравнения с современными аналогами, к количественному подходу к палеореконструкциям. Эти изменения во многом стали результатом применения новых методов и подходов, в том числе разработки эмпирических зависимостей геохимических и минералогических показателей, связывающих различные почвенные параметры с экологическими условиями (климат и растительность), полученных для современных почв (Алексеев 2007, Sheldon et al. 2002, 2006, Gallagher, 2013, Kalinin et al, 2021; Алексеев и др. 2019, Alekseev et al, 2023).

Использование отношений химических элементов (геохимические индексы выветривания) для описания на их основе некоторых почвенных процессов широко используются при

исследовании палеопочв (Retallack 2001; Sheldon, Tabor 2009; Алексеев с соавт. 2019, Babechuk M.G. et al, 2014). В древних литифицированных почвах иногда только с помощью геохимических показателей можно получить информацию о почвообразовательных процессах и палеоклимате. Следует отметить, что сведения о находках дочетвертичных палеопочв на территории Земли фрагментарны, до недавнего времени в литературе отсутствовали прямые упоминания о находках палеопочв в разрезах девона Центрального Девонского Поля (ЦДП). Девонский период один из важнейших периодов в эволюции растений и развитии почвенного покрова Земли. К настоящему времени выполнены комплексные минералогические и геохимические исследования уникальных находок палеопочвенных объектов палеозоя, дающих представление о начальных этапах почвообразования на Земле и эволюции биосферы (Kabanov et al. 2010a, 2010b, 2013; Alekseeva et al. 2010, 2013, 2016, 2017, 2021, 2023; Алексеева с соавт. 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2016, 2018; 2023; Алексеева 2020; Алексеева, Алексеев 2024). Получены новые знания о континентальных этапах в развитии центральных и южных районов Русской плиты в среднем/позднем девоне и карбоне (380-300 млн. лет назад) - почвенном покрове, палеогеографии, направленности эволюции экосистем, климата и растительности на основе комплексного изучения ископаемых почв. Учитывая полноту геологического разреза девона (D1-D3) и обилие палеоботанических находок последние два года начаты исследования дочетвертичных палеопочв на архипелаге Шпицберген. Красноцветные отложения Шпицбергена представляют почти непрерывную серию от силурийских до позднедевонских отложений и являются идеальным архивом, сохранившим фациальные особенности биогенного преобразования осадка и эволюции почвенного покрова архипелага. Полученные аналитические результаты позволяют провести предварительные реконструкции наземных экосистем и климата на архипелаге Шпицберген в девоне и в дальнейшем при дополнении информации осуществить сравнение с накопленными за последнее десятилетие палеопочвенными данными для Центрального девонского поля (Европейская часть РФ). Продолжается исследование твердофазных компонентов четвертичных палеопочв, проведено детальное минералогическое и геохимическое исследование опорного разреза «Отказное», представляющего лёссово-почвенный комплекс, приуроченный к Терско-Кумской равнине (Alekseev, Alekseeva 2024). Разрез сохраняет детальную запись истории развития региона в плейстоцене. Один из важных полученных результатов состоит в демонстрации возможностей комплекса методов магнетизма окружающей среды в сочетании с Мёссбауэровской спектроскопией, минералогическими и геохимическими методами для проведения палеогеографических реконструкций природной среды. Отмечается высокая чувствительность минералов железа к изменяющимся климатическим условиям при почвообразовании и условиям осадконакопления, наблюдается существенное увеличение ферримагнитного вклада в палеопочвенных горизонтах (ПП), где он достигает 80% от полной магнитной восприимчивости по сравнению с лёссовыми горизонтами. На основе распределения групп глинистых минералов по глубине изученного разреза выделяется до шести уровней развития палеопочв. Степень выраженности изменений минерального состава в них различна. Присутствие хлоритов в палеопочвенных горизонтах, вероятно, может объясняться эродированностью наиболее выветрелой кровли ПП. Заметный прирост содержания смектитовой фазы в ПП горизонтах свидетельствует о достаточной длительности почвообразования. Полученные результаты изменения вещественного состава лёссово-почвенного комплекса подтверждает стратиграфические построения. На основании количественных показателей (совокупности магнитных, минералогических, и геохимических параметров) для почвенно-лёссовых комплексов территории Терско-Кумской равнины реконструирована динамика климатических условий, и подтвержден тренд постепенной аридизации климата в течение плейстоцена. Для анализа формирования твердофазных продуктов почвообразования и преобразования почвенного материала, обусловленного климатическими параметрами, ведется изучение

современных почв Русской равнины степной зоны с учетом климатического градиента (осадки, температура, индекс аридности, эвапотранспирация). Для репрезентативных почвенных профилей степной зоны изучены минералогические и геохимические параметры почв в целом, а также гранулометрических фракций почв (пыль крупная, пыль средняя, пыль мелкая, илистая фракция). Проведен сопряженный анализ химического и минералогического состава с использованием комплекса инструментальных методов, с целью получения биогеохимических индикаторов преобразования почвенной массы в связи с градиентом климатических параметров. Выполнены балансовые расчёты выноса–привноса элементов между компонентами почвенной матрицы и в почвенном профиле в целом. Вновь полученные показатели для современных почв степной зоны Европейской части России тестируются на коллекции образцов палеопочвенных объектов голоцена и плейстоцена. Развитие подходов к почвенным палеореконструкциям, во многом способствует пониманию факторной теорий почвообразования и элементарных процессов почвообразования, формирующих твердофазную память почв. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 24-24-00244).

УДК 631.4

ПАЛЕОПОЧВЫ СРЕДНЕГО ДЕВОНА НА ТЕРРИТОРИИ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ (ГЕОХИМИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, БИОТА)

Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Малышев В.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail: alekseeva@issp.serpukhov.su

Данная работа посвящена изучению палеопочв девонского периода на территории карьера Михайловского ГОКа (г. Железнодорожск, Курская обл.). В основании карьера вскрыт выступ фундамента, сложенный железистыми кварцитами разной степени преобразованности. Перекрывающий фундамент осадочный чехол сложен терригенными породами девонского, юрского, мелового и четвертичного возраста. Отложения среднего и верхнего девона залегают фрагментарно, на периферии выступа фундамента в понижениях его кровли. В ходе работ было обнаружено несколько палеопочвенных объектов девонского возраста, все они локализованы на западной стенке карьера. По результатам палинологического анализа возраст всех изученных палеопочв определен как старооскольский надгоризонт живетского яруса (D2-st). На настоящий момент в деталях изучены два педокомплекса, о которых будет идти речь в докладе. Использован следующий комплекс методов: рентген-флюоресцентный, рентгеновская дифрактометрия, Мессбауэровская спектроскопия, масс-спектрометрия, РЭМ. Педокомплекс I (Рис. 1 А) состоит из двух маломощных палеопочв (ПП) разного генезиса, разделенных осадками, не имеющими признаков преобразования почвенными процессами. Нижняя ПП1 сформирована на переотложенной коре выветривания пород фундамента. Ее кровля эродирована. Мощность сохранившейся части профиля составляет 30 см. Для этой ПП характерно высокое (до 60%) содержание Fe_2O_3 . В минеральном составе доминируют оксиды/гидроксиды железа – гетит и гематит, в качестве примесей содержатся кварц и каолинит. Отмечен рост содержания гематита в кровле ПП1. Верхняя ПП2 сформирована на терригенных породах супесчаного состава. Ее мощность также составляет 30 см. В минеральном составе содержатся кварц, каолинит, иллит и К-полевые шпаты. В обеих ПП значимым почвенным признаком является наличие ризолитов. В ПП1 ризолиты представлены полыми трубочками диаметром от 5 до 10 мм, неветвящимися, разноориентированными, проникающими на глубину до 10 см. В ПП2 ризолиты представлены вертикальными отпечатками, тонкими, ожелезненными, проникающими на всю глубину профиля. Морфологические особенности ризолитов указывают на формирование обеих ПП под густой растительностью травянистого облика. Строение педокомплекса свидетельствует, что он формировался в динамически нестабильных обстановках: почвообразование было сопряжено с эрозионными процессами и

осадконакоплением со сменой источника материала. Геохимические и минеральные характеристики указывают, что обе ПП находились на начальных стадиях формирования. Педокомплекс II (Рис. 1Б) включает мощную (~150 см) ПП1, развитую на вторично окarbonаченной брекчии пород фундамента и залегающую непосредственно на ней маломощную (около 40 см) ПП2 на терригенных отложениях супесчаного состава. Кровля ПП1 эродирована. В ее минеральном составе доминирует карбонат Fe (сидерит), дополнительно присутствуют гематит и гетит, в следовых количествах содержится каолинит. Морфологически выраженное преобразование брекчии сопровождается существенными химическими и минеральными трансформациями: на фоне резкого снижения содержания гематита отмечен рост содержания сидерита. Результаты изучения материала методом РЭМ показали, что в ходе почвообразования имело место растворение карбонатного цемента и формирование вторичного микрокристаллического сидерита (размер кристаллитов 1 – 10 мкм). В кровле ПП1 отмечается также новообразование каолинита (пленок и вермикулярного), а также фрамбоидальной формы пирита. Минеральный состав ПП2 принципиально отличен. Доминирует кварц, содержатся каолинит и иллит. Тело ПП1 густо пронизывают углефицированные макрофоссилии, проникающие на глубину до 80 см. Разреженно аналогичные фоссилии встречены и в профиле ПП2. Местами они внедряются из ПП2 в ПП1 (Рис. 1Б, показано стрелками). Фоссилии принадлежат моновидовой не древесной растительности. Результаты изучения изотопного состава углерода этих остатков показали, что $^{13}\delta\text{C} = -24.12 \pm 0.23\%$, что отвечает наземной растительности с С3 типом фотосинтеза. Изучение морфологии растительных тканей показало идентичность наземных и подземных частей данного организма. Таксономический состав растительности уточняется. Строение изученного педокомплекса и свойства ПП1 позволяют говорить о крайне продолжительном этапе формирования ПП1 и о возможном влиянии на нее процессов почвообразования в перекрывающей ПП2 (наложенное почвообразование или overprinting). Данная находка палеопочвы живецкого возраста – это пример «вымершего» типа почвы, сформированной под бескорневой растительностью, результатом воздействия которой явились глубокие физические, химические и минеральные преобразования массивного, твердого, химически бедного субстрата. Она отнесена к инситной, биотичной, литоэкстремальной (Горячкин 2022).

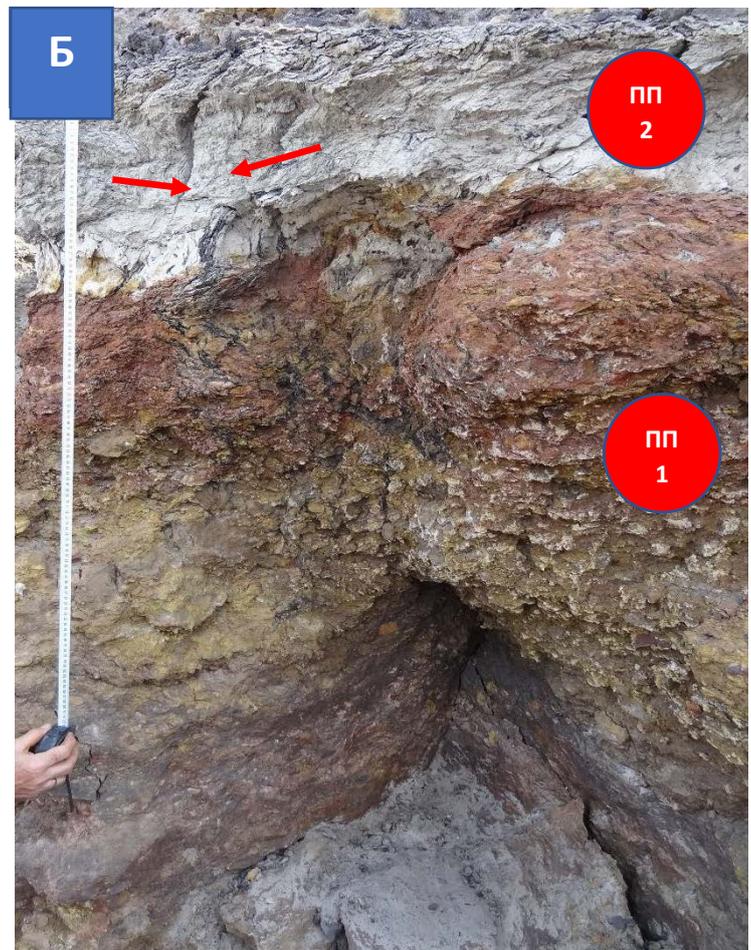
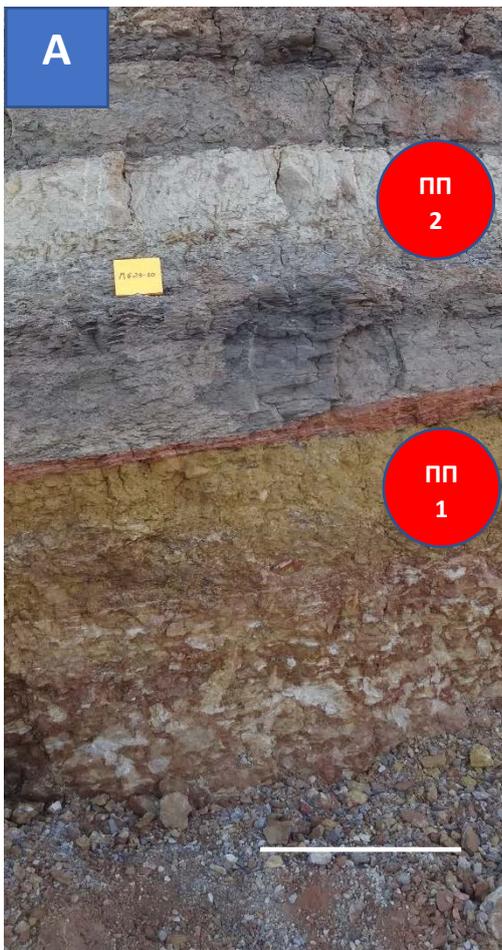


Рис.1.Фотографии палеопочвенных профилей живецкого возраста (средний девон) (Михайловский ГОК, г. Железногорск, Курская область). Обозначения даны в тексте. На Рис. 1А масштабная линейка 50 см.

УДК 631.481, 631.445

КРИОАРИДНЫЕ ПОЧВЫ КАК ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП: МОРФОЛОГИЯ, ДИАГНОСТИКА, ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ, ГЕОГРАФИЯ

Бронникова М. А.^{1,2}, Конопляникова Ю. В.¹, Герасимова М. И.^{3,4}, Гуркова Е. А.⁵, Черноусенко Г.И.⁴, Лебедева М.П.⁴, Голубцов В. А.⁶, Зазовская Э.П.^{1,7}, Тюнькин В.А.^{3,4}

¹Институт географии РАН, Москва, mbmsh@mail.ru;

²Texas Tech University, Lubbock, TX, USA;

³МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;

⁴Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва;

⁵Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск; ⁶Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск; ⁷Center for Applied Isotope Studies, University of Georgia, Athens, GA30602 USA

Выявление новых генетических типов почв всявязи с факторами почвообразования - традиционное направление исследований в области географии почв Института географии РАН. После коричневых почв И.П. Герасимова, идеально соответствующих условиям средиземноморских субтропиков, В.О. Таргульяном была заполнена экологическая ниша «плотные породы-тайга-холодный влажный климат» введением в 1980-х годах подбуров; С.В. Горячкиным и Н.С. Мергеловым были выделены особые эндолитные почвы экстремально холодных пустынях Антарктики. В рамках этой традиции, более широким коллективом исследователей изучаются и криоаридные почвы, под криоксерофитными степями в условиях экстраконтинентального аридного-семиаридного климата. Для подобных почв В.И. Волковинцер в конце 1970-х годов предложил название «криоаридные почвы», не столько отделяющее их от каштановых почв, сколько соответствующее экстремальному сочетанию факторов почвообразования в их ареалах. Эти почвы описаны в межгорных котловинах гор Южной Сибири и Монголии, на высоких плоскогорьях и соляных склонах гор Восточной Сибири, а также в континентальной внутренней Аляске, в горных системах Центральной Азии и в Тибете.

Тип криоаридных почв выделялся, главным образом, за маломощные горизонты А1 и Вк и уникальную комбинацию условий почвообразования: отрицательные среднегодовые и экстремально низкие зимние температуры при высоких сезонных и суточных амплитудах температур, часто неглубоко залегающая сухая мерзлота, неоднородные щебнистые субстраты, специфическая разреженная растительность сухих холодных степей с реликтовыми чертами плейстоценовых тундростепей, с преобладанием корневой биомассы над надземной, малым разнообразием и низкой активностью педофауны и микробиоты. Все эти условия приводят к развитию почв с определенным набором генетических горизонтов, которые в соответствии с принципами классификации почв России (2004/2008) считаются диагностическими и идентифицируют почвы на уровне типа. Так, в профиле криоаридных почв на основании работ В.И. Волковинцера были выделены криогумусовый (АК), палео-метаморфический (ВРЛ) и аккумулятивно-карбонатный (ВСА) горизонты. В классификации почв России этот тип почв оказался одним из самых малоизвестных и малоисследованных.

Начиная с 2010 года, на базе Института географии РАН было осуществлено несколько проектов по криоаридным почвам, в рамках которых собран и проанализирован новый фактический материал из разных регионов страны. Эти исследования позволили верифицировать, детализировать и пересмотреть представления о генезисе, диагностике, географии криоаридных почв. Криогумусовый горизонт характеризуется бурой окраской (10YR3/3, в случае наиболее аридных вариантов – 10YR5/4), обилием мелкого слабо-средне разложенного растительного, преимущественно корневого, детрита, наличием красновато-бурых гумусовых кутан на щебне, непрочной комковато-порошистой макроструктурой. Песчаные и гравелистые зерна наряду с гумусовыми могут быть покрыты пылевато-глинистыми кутанами. Такие кутаны наблюдаются, в том числе, на слабо разложенных растительных остатках – яркое свидетельство современности процесса криогенной перегруппировки материала. На микроуровне характерно наличие большого количества хорошо выраженных биогенных зернистых микроагрегатов размером 25–50 мкм, присутствие более крупных слабооформленных криогенных ооидных агрегатов размером около 250 мкм. В наиболее аридных вариантах горизонт АК не задернован, в его верхней части выражен подгоризонт акI: недифференцированная тонкослоисто-пузырчатая корка с округлыми (газовыми) порами, карбонаты присутствуют с поверхности, максимально выражено ожелезнение и окарбоначивание растительных остатков. Сочетание резкого дефицита тепла и влаги, особенно во время длительного периода отрицательных температур, определяет низкую биологическую активность и, как следствие, ограниченную минерализацию и особые пути трансформации органического вещества, проявляющиеся в накоплении мелкого корневого детрита в горизонте и скопление отмершего корневого войлока на литологических контактах. Горизонт BPL на макроуровне характеризуется палевой (буровато-желтой) окраской, непрочной призмовидно-блочной-ореховато-порошистой плохо оформленной структурой, наличием глинисто-пылеватых кутан на минеральных зернах. На микроморфологическом уровне его специфическими чертами являются обилие глинисто-пылеватых кутан на минеральных зернах, наличие слабо- и средне-разложенных растительных остатков и зернистых микроагрегатов. Во всех BPL горизонтах в большей или меньшей степени выражена криогенная ооидная микроструктура в виде мелких криогенных ооидных агрегатов размером около 250 мкм. Учитывая недостаточно яркую выраженность в подгумусовом горизонте диагностических признаков палевого горизонта, предлагается придать последнему статус не горизонта BPL, а признака, т.е. индексировать первый подгумусовый горизонт как Bpl. Особенность аккумулятивно-карбонатного горизонта криоаридных почв состоит в абсолютном преобладании в нем натечных форм карбонатных новообразований – карбонатных кутан на обломках пород, также карбонаты могут быть представлены в форме пропиток и осколков карбонатных кутан. Исследования криоаридных почв в широком географическом диапазоне показали, что их карбонатный профиль и, в частности, горизонт ВСА часто является унаследованным от былых эпох почвообразования, не только голоценового, но и плейстоценового возраста. Также криоаридные почвы прошли гумидный автоморфный этап (3800 л.н.), сформировавший Fe-гумусовые кутаны поверх карбонатных. Современным условиям и современному этапу педогенеза в профиле криоаридных почв соответствуют а) накопление мелкого (0,1-1 мм) корневого детрита в сочетании со слабой аккумуляцией гумуса; б) биогенное зернистое и криогенное ооидное микроструктурирование; в) криогенная перегруппировка пылевато-глинистого вещества с образованием силикатных кутан на верхних гранях крупных обломков пород, мелких скелетных зернах и слабо-разложенных растительных остатках; г) частичная перекристаллизация карбонатных кутан и локальное перераспределение карбонатов. В наиболее аридных условиях возможно коркообразование, а также ожелезнение и окарбоначивание растительных остатков. Таким образом, на основании иерархического морфологического анализа установлена полигенетичность криоаридных почв. Тип криоаридных почв в классификации почв России предлагается перевести в отдел

светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв, куда входят родственные им каштановые и бурые аридные почвы. От каштановых почв криоаридные отличаются отчетливыми криогенными признаками, от палевых - доминированием биогенных черт над криогенными. Предложен также расширенный набор подтипов, отражающий выявленное проведенными исследованиями географическое разнообразие криоаридных почв. Из списка подтипов, приведенного в “Полевом определителе...” (2008) для отдела палево-метаморфических почв, в который входят сейчас криоаридные почвы, могут быть использованы следующие подтиповые квалификаторы: темная языковатый; поверхностно-турбированный и постагрогенный. Среди ранее не выделявшихся в отделе подтипов для криоаридных почв предлагается использовать: криометаморфизованный и дисперсно-карбонатный. Своеобразным (уникальным) подтипом криоаридных почв является внутрипрофильно-детритный. Уникальным можно также считать гумусово-иллювирированный подтип, вероятно, связанный с более гумидной фазой формирования криоаридных почв. В наиболее аридных условиях можно выделить ксерогумусовый подтип, засоленный и гипсодержащий подтипы.

УДК 631.46

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И ЭМИССИИ CO₂ ПОЧВАМИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Васенев В.И.^{1,2}, Корнейкова М.В.¹, Саржанов Д.А.¹, Горбов С.Н.³, Долгих А.В.⁴

¹Российский университет дружбы народов, Москва, vasenev-vi@rudn.ru;

²Университет Вагенингена, Вагенинген, slava.vasenev@wur.nl;

⁴Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, gorbow@mail.ru;

⁵Институт географии РАН, Москва, dolgikh@igras.ru

Городские почвы можно считать наиболее недооцененным экологическим ресурсом. Современные концепции устойчивого развития городов уделяют основное внимание экологическим функциям и экосистемным сервисам городской зеленой инфраструктуры: зеленых насаждений и почв. Депонирование углерода – важнейшая экологическая функция почв, актуальность которой возрастает на фоне формирования международных и российских принципов углеродной нейтральности, нацеленных на компенсацию эмиссии парниковых газов за счет его депонирования в биомассе и почвах. Цель исследования – анализ факторов, определяющих регионально-типологические закономерности пространственного варьирования и временной динамики запасов углерода в городских почвах, условия и механизмы их накопления и устойчивости.

В рамках сравнительно-географической оценки в зональном ряду почв городов Европейской части России (Мурманск, Апатиты, Москва, Пушкино, Курск, Ростов-на-Дону) изучали запасы органического и неорганического углерода. Устойчивость запасов углерода к биодеструкции оценивали через константу биодеструкции (k), время их полуразложения ($T_{0.5}$) и оборачиваемости ($T_{0.95}$). Параметры рассчитывали отношением микробной продукции CO₂ (микробного дыхания, МД) к содержанию/ запасам углерода. Суточную, сезонную и многолетнюю динамику эмиссии CO₂ наблюдали с использованием портативных ИК газоанализаторов Li-820 (LiCor, США) и EGM5 (PPS, США) с параллельным измерением температуры воздуха и почвы (CheckTemp, Hanna, Германия) и влажности почвы (SM-300, DeltaT, Великобритания).

Содержание С_{орг} в слое 0-10 см почвы городов севернее Москвы было выше такового южных (Пушино, Курск, Ростов-на-Дону). При этом, в Апатитах, Москве и Пушкино С_{орг} почвы превышало соответствующие фоновые, а в Курске и Ростове-на-Дону - обратная закономерность. Это объясняется, по-видимому, высоким содержанием углерода в фоновых черноземах и быстрой деградацией органического вещества городских почв в жарком

климате. Наименьшее содержание Сорг (0-10 см) показано для Ростова-на-Дону, а его T0.5 составило чуть более 7 лет (12 и 35 лет для Апатит и Мурманска). Сопоставление запасов Сорг в профиле ожидаемо показало их высокие значения в Курске и Ростове-на-Дону, что связано с большей мощностью городских почв (для северных городов в среднем 120 см и 70 см) и значительными запасами углерода в погребенных горизонтах естественных аналогов. Так, для почв Ростова-на-Дону вклад слоя 0-10 см в общий запас углерода уменьшился с 23 до 13%, а слоя 50-120 см - вырос с 3 до 37%. Интересная зональная закономерность выявлена при анализе вклада органического и неорганического углерода в его общий запас. В подзоле Мурманска (фон) доля Сорг не превышала 5%, а в верхних горизонтах городских почв достигала 15% и уменьшаясь на глубине 50 см (1%). Для Ростова-на-Дону показано, напротив, закономерное увеличение вклада Сорг по профилю городских почв с 5 до 32% и в фоновом черноземе - с 1 до 78%. В почве этого города показан наибольший вклад Сорг для слоя 30-50 см (часто отмечено обильное включение известкового гравия), а фона – на глубине ≥ 100 см из-за карбонатных новообразований.

Динамика эмиссии CO₂ городскими и фоновыми почвами определялась сочетанием факторов: свойствами почв (в основном содержанием Сорг) и сезонными гидротермическими изменениями. При этом, совокупность факторов «биоклиматическая зона» и «тип землепользования (город или фон)» определила 51% общей дисперсии эмиссии CO₂. Наибольшая среднегодовая эмиссия показана для Ростова-на-Дону (33 ± 2 г CO₂ м⁻² сут⁻¹), которая почти в три раза выше, чем для Мурманска. В Ростове-на-Дону и Москве эмиссия городских почв была почти в два раза выше по сравнению с фоном, а для Мурманска и Курска – ниже на 10-15%. В Мурманске и в Ростове-на-Дону 45-60% эмиссии приходилось на летний период, в Курске – $\geq 50\%$ на весенний, а в Москве вклад лета, весны и осени был примерно одинаковым (данные 2021 г., зима не рассматривалась). Летом 2021 г. в центральной России была зафиксирована рекордная температура, что сказалось и на почвенной эмиссии CO₂. Наиболее ее сильные изменения отмечены для южных городов – в Курске – летом увеличение на 50% в городе и на 20% в лесостепи, в Ростове-на-Дону – в 2 и почти в 3 раза в городе и в степи. Для фоновых и городских участков зафиксировано значимое увеличение температуры и снижение влажности почвы, так для Ростова-на-Дону температура июля в среднем выросла на 3.5°C, а влажность - уменьшилась на 15%. Для всех городов, за исключением Ростова-на-Дону, прирост эмиссии CO₂ почвы летом за последние годы значимо выше в городе, чем на фоновых участках, что свидетельствует о высокой уязвимости городских почв к климатическим изменениям.

Таким образом, в широтном ряду от лесотундровой зоны до степной, общие запасы углерода в профиле городских почв увеличиваются, а в верхнем 10-ти см слое – уменьшаются.

Эмиссия CO₂ почвами Ростова-на-Дону была в среднем в 3 раза выше, а период полуразложения – в 2.5 раза ниже по сравнению с таковыми показателями Мурманска. При этом климатические изменения (например, жаркий 2021 г.) усиливают биодеструкцию углерода почвы на 25-40% в городских почв и на 10-20% - в фоновых аналогах.

Исследование выполнено при поддержке проекта Российского научного фонда № 19-77-30012 и проектом Государственного задания № FSSF-2024-0023

УДК 631.452

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОДОРОДИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Воронкова Н.А.¹, Балабанова Н.Ф.¹, Азаренко Ю.А.², Волкова В.А.¹, Кемеров А.А.¹

¹ ФГБНУ «Омский АНЦ», Омск, voronkova.67@bk.ru;

² Омский государственный аграрный университет, Омск, yua.azarenko@omgau.org

Удобрения в современной земледелии являются одним из важных факторов интенсификации сельскохозяйственного производства, повышения продуктивности культур и улучшения

баланса биофильных элементов в агроценозах. В условиях длительного применения различных систем удобрения большое практическое и теоретическое значение приобретает информация о качественных и количественных изменениях свойств разных типов пахотных почв, полученная в длительных стационарных полевых опытах. В связи с тем, что основу пахотного фонда почв Омской области составляют агрочерноземы, целью исследования являлась оценка влияния систематического применения минеральных удобрений на показатели их плодородия.

Исследования проводили в опытах лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омского АНЦ» (южная лесостепь Западной Сибири). Почвенный покров опытных участков представлен агрочерноземами квазиглееватыми среднепахотными маломощными и среднемощными суглинистыми. В 1988 г. был заложен опыт на основе шестипольного зернотравяного севооборота с чередованием культур: люцерна 3-х лет использования - яровая пшеница - яровая пшеница - овес. Схема опыта включала варианты: 1. Без удобрений; 2. N₁₀P₁₇; 3. N₁₅P₂₃ (дозы удобрений на 1 га севооборотной площади). Применяли аммиачную селитру и аммофос. Исходное содержание гумуса в слое 0-20 см составляло 6,4-6,6% (по Тюрину), подвижного фосфора и обменного калия, соответственно, 105-128 и 350-420 мг/кг почвы (по Чирикову). Сумма обменных катионов – 32,1 ммоль/100 г почвы, в их составе доля Ca²⁺ – 89%, Mg²⁺ – 11%, Na⁺ менее 1%, pH – 6,6-6,7. Агротехника возделывания культур общепринятая для лесостепной зоны.

Проведенные исследования показали, что за три ротации зернотравяного севооборота содержание гумуса в слое 0-20 см агрочернозема не изменилось. Систематическое применение минеральных удобрений привело к увеличению его количества в почве на 0,16-0,30% при уровне на контроле 6,72% за счет большего количества пожнивно-корневых остатков, поступающих в почву. Увеличение урожайности культур севооборота при улучшении их минерального питания способствовало возрастанию количества мортмассы и содержания углерода в ее составе, которое по фонемам N₁₀P₁₇ и N₁₅P₂₃ составляло 960 и 1095 мг/кг, что на 41 и 61 % превышало значения на контроле. Доля углерода мортмассы от общего содержания органического углерода почвы возросла с 1,74% до 2,40-2,68% при внесении минеральных удобрений. Связь содержания гумуса почвы и количеством мортмассы подтверждена корреляционным анализом (R² = 0,66).

Длительное применение минеральных удобрений оказало стабилизирующее влияние на азотный фонд агрочернозема. Валовое содержание азота в мортмассе составляло 1,58-1,73% и не зависело от дозы удобрений. Однако запасы азота мортмассы в вариантах N₁₀P₁₇ и N₁₅P₂₃ возросли на 31% и 38% относительно варианта без удобрений. Доля азота мортмассы в общем содержании азота почвы возросла с 23% до 28-29% при внесении минеральных удобрений. В опыте наблюдалась зависимость содержания нитратного азота в слое 0-40 см агрочернозема и азотом мортмассы ($\eta=0,76$).

Систематическое применение фосфорных удобрений существенно повлияло на содержание подвижного фосфора в почве. В течение трех ротаций севооборота запасы подвижной формы элемента в почве увеличились на 108-198 кг/га в сравнении с исходными. В контрольном варианте концентрация фосфора в слое 0-20 см почвы составляла 115 мг/кг, в результате применения удобрений она повысилась на 41-75%. Была установлена сильная зависимость содержания подвижного фосфора в почве от внесенного P₂O₅ удобрений ($r=0,95-0,99$). При длительном применении удобрений были выявлены значительные изменения качественного состава минеральных фосфатов, определенного по Гинзбург-Лебедевой. Установлено существенное увеличение количества активных фосфатов (1-4 группы) и, прежде всего рыхлосвязанных (1-2 группы).

Длительное внесение минеральных удобрений не сопровождалось аккумуляцией тяжелых металлов в пахотном слое агрочернозема. После тридцати лет длительного внесения минеральных удобрений наблюдали снижение в нем валового содержания меди на 9%, цинка

– на 25%, марганца – на 2%, никеля – на 7%, свинца – на 22%, как результат выноса микроэлементов растениями с урожаем.

Определение содержания обменно-поглощенных катионов не выявило уменьшение их суммы и изменение соотношения по сравнению с исходным уровнем. В то же время было отмечено снижение величины рН водной суспензии с 6,7-6,8 на контроле до 6,3-6,5 в удобренной почве.

Плодородие агропочв в значительной степени определяют физические свойства, важнейшим из которых является структурное состояние. В опыте, заложенном в 1987 г. на основе пятипольного зернопарового севооборота (пар-яровая пшеница-соя-яровая пшеница-ячмень) в 2022 г. изучали показатели структуры слоя 0-20 см агрочернозема в варианте без удобрений и в варианте с максимальными дозами азотно-фосфорных удобрений ($N_{18}P_{42}$ на 1 га севооборотной площади). Для выявления трансформации физических свойств пахотных почв наблюдения за структурой проводили на залежном участке, находящемся в непосредственной близости от опыта.

Структурно-агрегатный состав гумусового слоя чернозема постагрогенного при полевой влажности был представлен соотношением фракций разного размера: более 10 мм – 13%; 0,25-10 мм – 75%, менее 0,25% - 12%. Пахотный слой агрочернозема как в варианте без удобрений, так и при их применении, характеризовался значительным увеличением размеров структурных отдельностей. Содержание глыбистой фракции (крупнее 10 мм) по сравнению с залежью увеличилось в 2,5-2,6 раз. Количество агрономически ценных по размеру агрегатов было меньше, чем на залежи (60-62%), однако свидетельствовало о хорошем состоянии структуры. Доля пылеватой фракции была небольшой: 4-7,6%. Существенных различий структуры почвы под действием удобрений не наблюдалось. Величина коэффициента структурности агропочвы в варианте без удобрений составляла 1,50; в варианте с удобрениями – 1,65, что значительно меньше данного показателя на залежи – 3,4, но указывает на хорошее и отличное структурное состояние. Таким образом, сельскохозяйственное использование, прежде всего обработки почвы, привели к трансформации и укрупнению размеров структурных отдельностей. Средневзвешенный диаметр агрегатов пахотного слоя был максимальным в варианте с применением удобрений (8,7 мм), несколько меньше (8,1 мм) – без удобрений, при этом на залежи показатель составлял 4,2 мм. Существенные различия между залежной и пахотной почвами наблюдались по водопрочности макроагрегатов размером 3-5 мм, определенной по П.И. Андрианову. Длительное сельскохозяйственное использование привело к уменьшению количества водоустойчивых агрегатов: 16,7% на контроле, 26,7% - в варианте с удобрениями. Залежное состояние способствовало восстановлению и повышению водопрочности структурных отдельностей чернозема постагрогенного до 69-85%. Таким образом, длительное применение минеральных удобрений в системе севооборотов оказало положительное влияние на состояние органического вещества и режим элементов питания агрочерноземов, сохранение удовлетворительного структурного состояния. В целом, применяемая система удобрения обеспечивает стабильность урожаев сельскохозяйственных культур и воспроизводство отдельных элементов плодородия агрочерноземов.

УДК 631.4

КЛАССЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ПОЧВ И СОЛОИДОВ - ОТ ФАКТОРНОГО ДО СУПРАГЛЯЦИАЛЬНОГО

Горячкин С.В.

Институт географии РАН, Москва, e-mail sergey.gory@gmail.com

Экстремальные условия среды в высокогорьях, на поверхности ледников, в пустынях, в Арктике и Антарктиде, а также связанные с мелководьями, токсичными или бедными по содержанию питательных элементов субстратами, интенсивными антропогенными

воздействиями, специфической атмосферой или её отсутствием во вземных системах, приводят к формированию почв и почвоподобных систем (солоидов), которые не соответствуют традиционным канонам современного почвоведения и географии почв. Пространственно-временной синтез полученных знаний о почвах экстремальных условий позволил выделить следующие классы экстремальности почв и солоидов.

I. Факторная экстремальность почв. Моно- и мультифакторная экстремальность, связанная с особенностями одного или нескольких факторов почвообразования (см. ниже).

II. Надземная экстремальность почв и солоидов. В некоторых случаях почвы и солоиды развиваются на древесном ярусе экосистем при участии эпифитов, задерживающих органические остатки и эоловый мелкозём, – это подвешенные (suspended) почвы. Сюда же можно отнести и ещё не исследованные органо-минеральные образования, формирующиеся на месте заброшенных древесных колоний животных – термитов, птиц.

III. Экстремальность супрагляциальных почв и солоидов. Речь идёт о специфических органо-минеральных образованиях на поверхности ледников и снежников. Эоловое накопление мелкозёма и появление растительности, начиная от водорослей и заканчивая лесом, обуславливают процессы, приводящие к появлению целой серии солоидов и почв: светопоглощающих примесей, криоконитов, “ледовых” почв (накопление разложенных остатков водорослей на поверхности льда, мощностью n см), полноразвитых почв под высшей растительностью, формирующихся на силикатном материале, подстилаемом глыбами мёртвого льда.

IV. Режимно-функциональная экстремальность почв связана с формированием в какой-то период (сезон, год) экстремальных для конкретной территории условий, прежде всего погодных. Как правило, это связано с отсутствием или избытком осадков, крайне высокими или крайне низкими для региона температурами, ледяным дождём и т.д. Например, экстремально жаркое и сухое лето 2003 г. в Западной Европе и 2010 г. в России оказало сильное влияние на потоки парниковых газов из почв. Этот класс экстремальности далеко не всегда или даже редко связан с генезисом и географией почв и появлением собственно экстремальных почв.

V. Хорологическая (внеареальная) экстремальность типа почвообразования связана с появлением почв, которые обычно характерны для других территорий с иным климатом. Например, немецкими почвоведом на побережье Восточной Антарктиды были найдены почвы, по всем критериям международной системы WRB соответствующие подзолам (Podzols), которые типичны для лесов и тундр. Другой пример был обнаружен с нашим участием для вертисолей (Vertisols по WRB). Вертисоли в большинстве своём относятся к глинистым почвам тропиков и субтропиков с чередованием сухого и влажного периодов. Однако недавно вертисоли были найдены и описаны в мерзлотной области Центральной Бурятии.

VI. Возрастная экстремальность почв стоит особняком по отношению к предыдущим классам. Сюда относятся очень молодые или, наоборот, очень древние почвы нормальных условий почвообразования. Первые через сотни или тысячи лет превратятся в нормальные оптимальные почвы, а вторые были таковыми миллионы лет назад. Однако подходы к исследованию первичных и очень древних почв во многом близки к экстремальной географии почв (электронная микроскопия, томография и др.), так как рутинные методы почвоведения оказываются недостаточно аккуратными по отношению к этим хрупким объектам.

Отдельно рассмотрим наиболее распространённую факторную экстремальность почв. Можно выделить следующие её разновидности.

Климатически экстремальные почвы (клима-экстремальные) – недостаточно обеспеченные теплом (регионы высоких широт) или влагой (засушливые регионы), территории с резкими колебаниями климатических условий.

Почвы, экстремальные в связи с рельефом (топо-экстремальные), неполноразвитость которых связана с местными условиями рельефа (пещеры, отвесные скалы и т.д.).

Почвы, лимитированные по биоте (био-экстремальные), например, почвоподобные тела пещер, где полностью отсутствуют фотосинтезирующие организмы, или почвы под бескорневой растительностью.

Почвы, экстремальные в связи с субстратом (лито-экстремальные), например, развивающиеся в токсичной среде или на крайне бедной основе, что не обеспечивает в должной мере благоприятные свойства и запас питательных веществ для развития биоты, а также экстремальные в связи с крайне неблагоприятными физическими свойствами, например, высокой каменистостью и практическим отсутствием мелкозёма.

Почвы, развитие которых лимитировано современным формированием отложений (седименто- или седи-экстремальные) – эоловым, флювиальным, вулканическим и т.д., что было известно ещё в додокучаевский период.

Почвы, сформировавшиеся под активным влиянием современных или прошлых эндогенных процессов (эндогенно-экстремальные), а также биокосные образования в гидротермальных условиях.

Почвы, сильно подверженные действию поверхностных вод на днищах мелких водоёмов, которые, согласно Мировой реферативной базе почвенных ресурсов, относятся к почвам и классифицируются как почвы (субкво-экстремальные).

Почвы, подверженные сильному воздействию грунтовых, в том числе засоленных, вод (гидро-экстремальные).

Почвы, сильно изменённые или сформированные в связи с деятельностью человека (антропогенно-экстремальные), – почвы на культурных слоях, токсичных отходах и т.д.

Весьма часто приходится иметь дело с мультифакторной экстремальностью. Как правило, клима-экстремальные почвы одновременно являются лито-экстремальными из-за выноса мелкозёма сильными ветрами или седи-экстремальными в связи с эоловым привносом. Топо-экстремальность часто сочетается с лито-экстремальностью почв.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 20-17-00212.

УДК 631.461

СООТНОШЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАДИЦИОННОГО И МЕТАГЕНОМНОГО МЕТОДОВ АНАЛИЗА В ОЦЕНКЕ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ МИКРОБИОМА ПАХОТНОГО ЧЕРНОЗЕМА

Данилова А.А.¹ Григорьева Т.В.², Маркелова М.И.² Хуснутдинова Д.Р.² Калмыкова Г.В.³

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск Новосибирская обл., Danilova7 alb@yandex.ru ;

²"Мультиомиксные технологии живых систем", Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, mimarkelova@gmail.com;

³ООО «Микопро» Кольцово, Новосибирская обл., gvkalmyk@mail.ru

На сегодняшний день существует недостаток микробиологических показателей плодородия и экологического состояния почв, необходимых для оценки и мониторинга почвенных ресурсов. Именно метагеномные исследования считаются перспективным направлением по выявлению таких показателей – биоразнообразия, численности индикаторных таксонов и сложности межвидовых связей (Семенов, 2019). Анализ V3-V4 региона 16S рРНК у бактериобиома почвы в настоящее время является наиболее доступным и широко применяемым подходом для этих целей.

Цель нашей работы состояла в сравнении выводов в области оценки устойчивости микробного сообщества почвы к воздействию агрогенных стресс- факторов, полученных при помощи эксперимента с культивируемой частью сообщества и метагеномного анализа

таксономической структуры бактериома, то есть «некультивируемого большинства» почвенных микроорганизмов.

Почва. Чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный (Luvic Chernozem) с различным предшествующим агроиспользованием. Образцы почвы для лабораторных опытов были отобраны в многолетних опытах, расположенных в «ОС Элитная» СФНЦА РАН в левобережной части Новосибирского Приобья (54°53'13,5" с.ш. и 82°59'36,7" в.д.). В работе приводим данные по двум контрастным вариантам эксплуатации почвы - экспериментальном истощении в условиях бессменного чистого пара (16 лет) и использовании почвы в зернопаровом севообороте сидеральным паром с оставлением соломы на поле. Во втором варианте – на протяжении тех же 16 лет поступало в почву около 5-6 т/га в год растительных остатков. В результате различий в агротехнологии свойства почвы существенно изменились, прежде всего, в содержании мобильной фракции органического вещества (Сморт составляло 250 и 2800 мг/кг соответственно), которая, как известно, является основным регулятором и стабилизатором биологического статуса почвы. Число КОЕ на среде МПА составляло на пару 2 – 5 млн/г, в севообороте – 10 – 15. При этом доля спорообразующих бактерий на первом варианте была более чем на 50% выше в сравнении со вторым.

В качестве стрессоров в эксперименте были задействованы два фактора – применение гербицида (метсульфурон метил – широко используемый для борьбы с широколиственной сорной растительностью) и инокуляция семян ростостимулирующей культурой бактерий (штамм *Bacillus thuringiensis ssp. dakota* В-947).

Сравнили результаты оценки устойчивости живой фазы почвы, полученные методом мультисубстратного теста (МСТ) и метагеномного анализа.

Выделение ДНК из образцов почвы проводили с использованием коммерческого набора FastDNA™ SPIN Kit for Soil (MP Biomedicals, США). Ампликоны V3-V4 региона гена 16S рРНК были секвенированы на платформе Illumina MiSeq (США) в режиме 2*300 п.о. Анализ производился с помощью программного обеспечения QIIME2 (v.2022.8) и базы данных SILVA (v/138).

При помощи МСТ оценивали функциональную устойчивость культивируемой части микробного сообщества почвы. Изучили размах колебания метаболического профиля сообщества при компостировании почвы без дополнительных источников углерода, внесении соломы, гербицида. Установлена универсальность отклика метаболического профиля сообщества на все изученные виды стрессов. А именно, размах колебания показателя устойчивости (отклик коэффициентов вариации общей активности и выравнивания функционального спектра на стресс) в почве с низким содержанием Сморт был всегда достоверно выше в сравнении с таковыми с более высоким содержанием С морт. Экологическим последствием низкой метаболической устойчивости культивируемой части микробного сообщества в бедной почве явилось снижение способности к детоксикации гербицида до 2 раз в сравнении с почвой с более высоким содержанием С морт.

По результатам метагеномного анализа список таксонов бактерий в почве под паром и севооборотом не различался. При этом обнаружены сдвиги в представленности таксономических групп, логично соответствующие сукцессионным изменениям в сообществе при истощении питательных ресурсов в почве в условиях многолетнего парования – повышение доли фил, представители которых часто характеризуются как олиготрофы, и понижение доли фил, относящихся к копиотрофам. Изменения в порядках также в целом соответствовали этим же закономерностям. В частности, отметили повышение доли фил *Firmicutes*, за счет порядка *Bacillales*, то есть отмечено повышение представленности споровых форм в парующей почве в сравнении с почвой севооборота. Как показал анализ различий в представленности топ-10 порядков между вариантам опыта, отклонение состава микробиома от контроля при стрессе на фоне пара было достоверно больше (см расстояние Брея-Кертиса) в сравнении с показателями почвы с севооборота

(рис.), что свидетельствует о более низкой устойчивости бактериобиома бедной почвы в сравнении с более богатой.

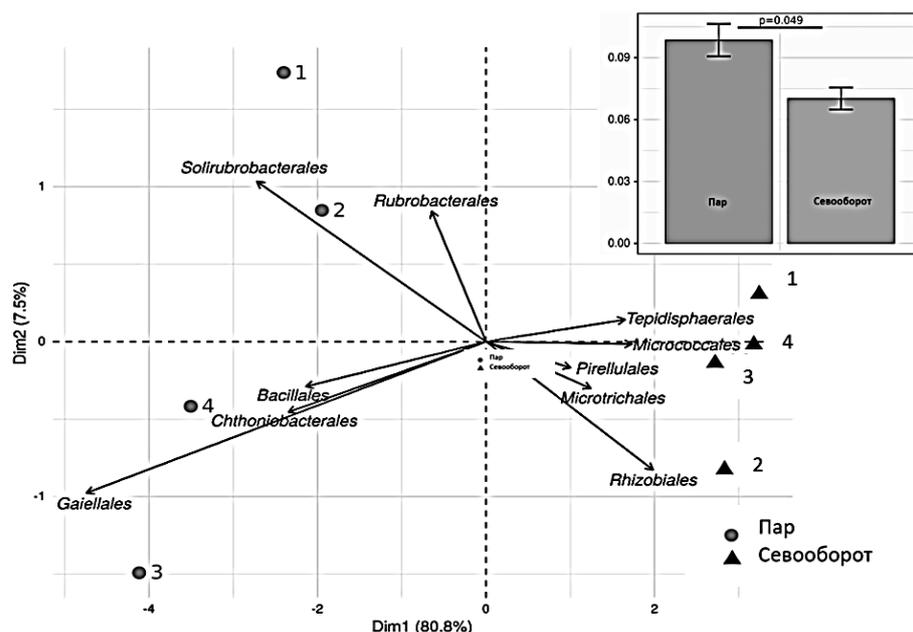


Рисунок. Представленность топ-10 порядков в координатах главных компонент и расстояние Брея-Кертиса между контрольным и опытными образцами
Примечание. 1 – контроль, 2 – гербицид, 3 – биопрепарат, 4- гербицид+биопрепарат

Сделан вывод, что закономерности, установленные при помощи метода, учитывающего реакцию культивируемой части микробного сообщества почвы на агрогенный стресс, оказались сходными с выводами, полученными на основе метагеномного анализа. То есть, изменения, отмечаемые при помощи традиционных методов почвенной микробиологии, являлись отражением изменений, происходящих в микробиоме почвы в целом.

УДК 631.47

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Демьяненко Т.Н.

ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Красноярск, t-demyanen@mail.ru

Структуры почвенного покрова (СПП) являются основой для выделения элементарных ареалов агроландшафта и агроэкологической типологии земель, необходимой при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия. В настоящем сообщении приводятся результаты детального изучения структуры почвенного покрова пахотных массивов лесостепи Красноярского края.

Земледельческая зона в Красноярском крае, как и лесостепная, имеет островной характер. Объектами исследований явились территории хозяйств, расположенных в западной (Назаровской) лесостепи – ЗАО «Искра» Ужурского района, и в северной (Красноярской) лесостепи – учебно-опытное хозяйство «Миндерлинское» Сухобузимского района (рис.).

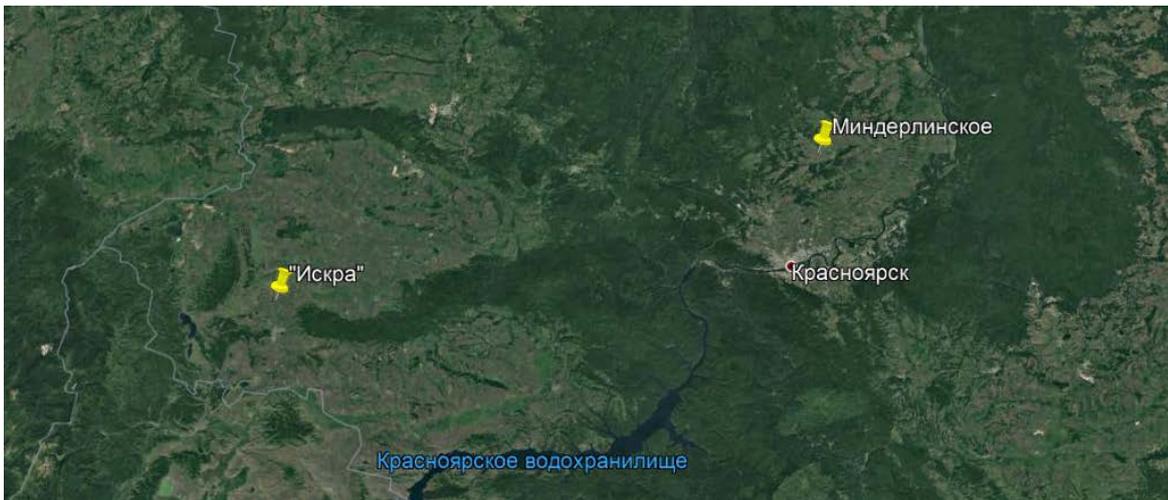


Рис. Местоположение территории хозяйств, входящих в базу данных СПП

Климат территории хозяйств семигумидный и очень континентальный, причем в Миндерлинском континентальность выражена сильнее, что проявляется в меньшей увлажненности и большем проявлении криогенных процессов. Климатические особенности, геоморфологическое и литологическое строение поверхности центральной части Красноярской лесостепи обуславливают развитие водной и ветровой эрозии. Северные макросклоны в большей степени подвержены водной эрозии, южные – ветровой. Глинистый состав пород Красноярской лесостепи, длительное сезонное промерзание, реликтовая мерзлота обуславливают здесь формирование ярко выраженного микрорельефа, что в свою очередь, отражается на рисунке почвенного покрова. В Назаровской лесостепи более выражена интенсивность денудационных процессов, что отражается на меньшей мощности почвообразующих пород и их более лёгком гранулометрическом составе. Изучение структуры почвенного покрова хозяйств осуществлялось с применением сравнительно-географического подхода, который включает трансектный и картографический методы.

СПП ключевых участков существенно различается. В Красноярской лесостепи с ярко выраженным микрорельефом СПП представлена мелкоконтурными ареалами. Доля однородных контуров ничтожно мала, основную площадь слагают микроструктуры – пятнистости. Наиболее распространены пятнистости маломощных чернозёмов глинисто-иллювиальных и криогенно-мицеллярных. Главный фактор формирования СПП – микрорельеф. Формы депрессий обуславливают генезис сопутствующих элементарных почвенных структур (ЭПС) и элементарных почвенных ареалов (ЭПА): в замкнутых формах суффозионно-просадочного микрорельефа, в большей степени характерного для водораздельных поверхностей, формируются глееватые и оподзоленные подтипы глинисто-иллювиальных чернозёмов, в открытых – протяженных депрессиях склонов образуются эродированные (смытые и намытые) почвы.

На территории Ужурского района Назаровской лесостепи структурой почвенного покрова управляет мезорельеф. Приподнятый фундамент, меньшая мощность рыхлых отложений обуславливают большие перепады высот с одновременно более гладкими поверхностями. Микрорельеф не выражен, а влияние пород более существенно: на элювиальных и трансэлювиальных позициях мощность рыхлой толщи невелика и под влиянием распашки часто «срабатывается», обнажая плотные известковистые коренные породы. В аккумулятивных позициях почвообразование идёт на более молодых и более мощных отложениях. Почвенный покров представлен вариациями чернозёмов криогенно-мицеллярных мало- и среднемощных на трансэлювиальных позициях и чернозёмов глинисто-иллювиальных на аккумулятивных. По предварительной оценке, в составе вариаций распространены средноконтурные ЭПА.

Главные лимитирующие плодородие факторы в Красноярской лесостепи – водная эрозия, в Назаровской лесостепи – водная, ветровая эрозии и каменистость почв. Степень проявления этих негативных явлений будет отражена на картах СПП для последующей их трансформации в карты типов земель – основу для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

УДК 631.4

ГУМУСОВЕДЕНИЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Дергачева М.И.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, e-mail mid555@yandex.com

В течение длительной, более 200-летней, истории становления и развития Учения о гумусе почв, было накоплено очень большое количество разнообразных материалов, характеризующих гумус и гумусовые вещества почв, часть из которых дошла до наших дней в виде устоявшихся, часто аксиоматичных, сведений, хотя сама история представляет собой смену периодов, когда появлялись веские доводы и доказательства реальности существования гумусовых веществ, их специфичности и правомочности широко распространенных методов выделения путем щелочной экстракции, и периодов, когда полностью отрицалось их существование. Шестидесятилетний опыт исследований этого почвенного компонента на разных уровнях его организации – от ландшафтного до макромолекулярного, проводимых в рамках Учения о гумусе почв в период учебы в аспирантуре под руководством одного из выдающихся исследователей гумуса почв Веры Владимировны Пономаревой, и в последующем в стенах Института почвоведения и агрохимии СО РАН, позволил, во-первых, получить масштабные по объему веские доводы и доказательства реальности существования гумусовых веществ, во-вторых, понять, что в своей совокупности и взаимодействии гумусовые вещества представляют природную открытую самоорганизующуюся и саморегулируемую систему, выполняющую ряд важнейших функций в биосферных процессах.

При решении разнообразных вопросов выяснилось, что в Учении о гумусе почв при едином объекте – гумусе или системе гумусовых веществ – есть проблемы и задачи, которые в своей совокупности могут быть выделены в отдельные направления этого учения, предмет которых существенно различается. Анализ и обобщение многочисленных проблем и вопросов позволил на данном этапе четко выделить три направления с разными предметами исследований, это – химическое направление, экологическое направление и теоретическое направление, названное нами «гумусоведение». Если предметом химического направления являются проблемы, связанные с изучением механизмов формирования гумусовых веществ, природы, строения и свойств результирующих этого процесса, экологического направления – природные (экологические) причины возникновения, направленности и интенсивности проявления механизмов формирования гумуса или системы гумусовых веществ, а также их функций, то предмет гумусоведения – разработка и обоснование теоретической и методической основы решения разного уровня задач (от общетеоретических до прикладных) Учения о гумусе почв, а также почвоведения, палеопочвоведения и других естественных и социальных наук, где требуются знания о состоянии природной среды и ее изменениях в пространстве и во времени, отражающиеся в составе, структуре и свойствах гумусовых веществ.

В рамках гумусоведения лежит очень широкий круг вопросов, в том числе он включает ряд наиболее дискуссионных проблем, относящихся к терминологии, реальности и нативности существования гумуса и гуминовых кислот, обоснованию теоретических и методических основ интерпретации материалов исследования с учетом разных позиций представления их сущности, возможностей и ограничений применения основных принципов и правил системного подхода, экологии почв, сравнительно-экологического и сравнительно-

аналитического анализа гумусовой составляющей почв, а также приложимости к решению разнообразных прикладных вопросов.

Среди принципов и правил изучения гумуса почв и интерпретации материалов его исследований особое внимание будет обращено на необходимость приведения системы используемых терминов к моносемантической, разработку прозрачных понятийных их нагрузок, обоснование стандартизации условий получения информации с учетом решаемых задач и т.п.

Все обсуждаемые вопросы будут подтверждаться оригинальными материалами о составе, сложении и свойствах гумусовых веществ, сформированных в разных природных ситуациях, с использованием идентичных условий, приемов и методов их изучения.

Часть вопросов, связанных с решением прикладных задач, будет обсуждаться *на примере обобщений больших массивов данных* с использованием *монофакторных рядов*, введения новых количественных показателей сходства и различий, применения методов, основанных на микроколичествах гуминовых кислот. Будут приведены доказательства необходимости применения стандартных условий, приемов и реагентов выделения гумусовых веществ, обоснована правомочность и рациональность использования общепринятого щелочного их экстрагирования, приведены количественные параметры гуминовых кислот, связь их с экологическими условиями на региональном или локальном уровне, а также примеры диагностики биоклиматических условий формирования и реконструкции разных объектов палеопочвоведения (в том числе, плиоцен-голоценовых палеопочв, педоседиментов, а также подкурганных почв и культурных горизонтов).

Будет проиллюстрирована зависимость характеристик состава и свойств гуминовых кислот от сроков и величины шага отбора почвенных горизонтов, влияние на их количественные показатели, а также индикационная значимость гумусовых веществ при определении экологического состояния почв и природной среды их формирования и функционирования в разные периоды палеогеографической истории и функциональной роли гумусовых веществ в биосферных процессах.

Будут проиллюстрированы количественные связи разных показателей состава гумусовых веществ, а также состава, сложения и свойств гуминовых кислот с параметрами климата на региональном и локальном уровнях для ряда участков разной географической локализации, диагностическая ценность параметров гуминовых кислот, специфичность которых из разных горизонтов почв проявляется в закономерном повторении количественных показателей ряда характеристик гуминовых кислот из аналогичных по экологическим условиям формирования объектов, а также проиллюстрированы возможности применения гуминовых кислот в качестве индикатора изменений, происходящих при сельскохозяйственном использовании земель.

Несмотря на охват широкого круга вопросов, иллюстративный материал позволяет представить все перечисленные проблемы, которые будут обсуждаться в докладе, в сжатой высокоинформативной форме.

УДК 631.46

ПОЧВЫ УЛЬТРАКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ: ГЕОГРАФИЯ, ГЕНЕЗИС, МИНЕРАЛОГИЯ

Десяткин Р.В.¹, Лесовая С. Н.², Оконешникова М. В.¹

¹Институт биологических проблем СО РАН, пр-т Ленина, 41, Якутск, 667891 Россия

²Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7/9, Санкт -Петербург, 199198 Россия

rvdes@ibpc.ysn.ru

Новый этап изучения почв, формирующихся под влиянием отрицательных температур и фазовых переходов почвенной влаги, начался в послевоенный период. Он связан с

основанием лаборатории почвоведения в составе Якутского филиала АН СССР и расширением изучения географии и генезиса почв арктических и горных территорий Якутии почвоведомы центральных институтов (Герасимов И.П., Иванова Е.Н., Караваева Н.А., Таргульян В.О, Соколов И.А., Наумов Е.М. и др.).

В работах этих авторов концепция мерзлотного почвообразования получила дальнейшее развитие, обогатив науку о почвах новыми терминами «криогенные и криоморфные почвы», «мерзлотная ретинизация», «криогенные процессы», «мерзлотные почвы», «почвенный криогенез» и др. (Соколов и др., 1980). С распадом Советского союза и с неоднократной реорганизацией системы научных учреждений в начале 21 века наблюдалась утеря единого государственного подхода в изучении почвенного покрова страны, кратно сократилось финансирование экспедиционных и экспериментальных работ.

В настоящее время только благодаря сотрудничеству и поддержке представителей центральных институтов мерзлотное почвоведение получает импульс дальнейшего развития. В данной работе приводятся результаты изучения географии, генезиса и минералогии почв на территории Якутии в последние десятилетия.

Существенно расширена география изучения почв труднодоступных арктических и горных территорий Якутии, уточнены границы высотного ландшафтного профиля обширной Верхоянской горной провинции, проведена детальная диагностика и классификация почв хребтов и плоскогорий вблизи полюса холода Северного полушария. Обобщая данные о свойствах почв, отмечаем, что для большинства почв исследованных территорий, характерны такие общие черты, как наличие торфяного/ грубогумусового горизонта, небольшая мощность почвенного профиля, кислая или слабокислая реакция почвенной среды, надмерзлотное оглеение, поверхностная ненасыщенность, слабовыраженная морфологическая и физико-химическая дифференциация профиля, слабая минерализация и замедленные темпы разложения органического вещества, связанные с суровыми климатическими условиями. Несмотря на неблагоприятные для сельскохозяйственного использования свойства, слабую устойчивость при антропогенном воздействии, эти почвы являются фундаментом формирования хрупкой северной природы и выполняют важную экологическую роль, обеспечивая функционирование наземных экосистем.

На основании наших исследований была уточнена специфика гумусово-аккумулятивного горизонта в палевых почвах и обосновано выделение типа дерново-палевых почв с последовательностью горизонтов: АУ–ВРЛ–ВСА–Сса. Такой тип отсутствует в отделе палево-метаморфических почв в Классификации и диагностике почв России (2004). В палевых почвах Центральной Якутии гумусово-аккумулятивный горизонт отличается по показателям от горизонта АJ, который предполагается в палевых почвах, он характеризуется буровато-серой окраской, непрочной комковато-порошистой структурой, содержанием гумуса до 10%, насыщенностью основаниями <80%, кислой или слабокислой реакцией среды. Перечисленные свойства сближают его с серогумусовым (дерновым) горизонтом – АУ, описываемым при характеристике профиля широкой группы преимущественно «кислых» почв, развитых в условиях гумидного климата, в том числе в отделах текстурно-дифференцированных, железисто- и структурно- метаморфических и др. Кроме того, кислая реакция и часто высокое содержание органического вещества (в ряде случаев превышающее 15%), наличие грубого гумуса предполагает введение индекса «ао», нехарактерного для светлогумусового горизонта АJ, и выделение подтипа грубогумусированных почв.

Выявлено, что мерзлотные палевые почвы Центральной Якутии, развитые на покровных карбонатных отложениях различного гранулометрического состава, характеризуются единой слюда–хлоритовой ассоциацией глинистых минералов. Они отличаются более высоким содержанием хлорита от почв на покровных и лёссовидных суглинках ЕТР, что корректирует существующее представление о преобладании в Центральной Якутии покровных гидрослюдисто-сметитовых отложений. На основании анализа профильного распределения глинистых минералов дана новая интерпретация данных, позволяющая предполагать, что

процессы выветривания и трансформации минералов в палевых почвах Центральной Якутии являются более масштабными, чем считалось ранее.

Почвенно-минералогические исследования, проведенные в разных частях Республики Саха позволили уточнить преобладающие ассоциации глинистых минералов почв. Показано, что по минералогическому составу почвы Анабарского плато (в пределах долины р. Маят) характеризуются как слюда-сметкитовые. Почвы различных ландшафтов - маршевый луг, алас и межаласный комплекс Колымской низменности (долина р. Алазея) относятся к хлорит-слюдистым. Показано, что морфологически и химико-минералогически слабовыраженная дифференциация криоземов, расположенных по градиенту биоклиматических условий лиственничное редколесье/ северная тайга - тундра (на примере Анабарского плато и Колымской низменности) обусловлена невысокой активностью процессов выветривания и почвообразования, а также влиянием криогенных процессов, приводящих к гомогенизации почвенных профилей. Только в криоземах тундры отмечена слабовыраженная профильная дифференциация минеральных фаз, что обусловлено разрушением/ растворением наиболее неустойчивых в кислой среде минералов. На примере почв Колымской низменности показано, что «минералогическим индикатором» современного почвообразования в кислых, слабо измененных почвообразованием криоземах аласов и межаласного комплекса является появление вермикулита - продукта трансформации унаследованных от породы минералов (преимущественно хлорита). Еще одним индикатором современного почвообразования нами рассматривается (гидро)оксид железа – лепидокрокит. Формирование лепидокрокита обусловлено преобразованием минеральной массы в условиях переменного окислительно-восстановительного потенциала и затруднительного дренажа при близком залегании мерзлоты, что реализуется в условиях маршевого луга.

Перспективность проводимых исследований обусловлена возможностью на современном уровне рассмотреть процессы почвообразования и выветривания, протекающие в условиях холодного ультраконтинентального климата и, как следствие, прогнозировать реакции почв и почвенного покрова на вызовы современности.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке базового проекта FWRS-2021-0026 (номер гос.регистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190036-6) и Гранта РФФИ 19-29-05151 (регистрационный номер АААА-А20-120061190009-9) и РФФИ 20-04-00888.

УДК 631.4

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Добротворская Н.И.

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск.

dobrotvorskaya@mail.ru

В аграрной отрасли оценка качества почв и почвенного покрова является важнейшей составляющей оценки потенциальной эффективности сельскохозяйственного производства. Однако новые экологические и экономические вызовы обуславливают необходимость более широкого подхода к использованию природного потенциала территорий, учитывающего не только особенности почвенного покрова, но и всех других компонентов ландшафта, обуславливающих эффективность принятых организационных, экономических и технологических решений. Такой подход разработан в концепции адаптивно-ландшафтного земледелия (Кирюшин, 1996, 2010, 2011; Агроэкологическая оценка..., 2005), в которой осуществляется переход от понятия «почвы» к более широкому понятию «земли». Оно включает в себя показатели таких компонентов ландшафта как климат и микроклимат, рельеф и микрорельеф, гидрология и гидрогеология, литология, геохимические условия, контрастность и сложность почвенного покрова.

Специфика почвенного покрова лесостепи Западной Сибири обусловлена тем, что он сформирован на неогеновых засоленных глинах в условиях непромывного и выпотного водного режима. Эти климатический и гидрогеологический факторы позволяют определить данную территорию как гидрогалогенно-зональную общность. Основными факторами, определяющими направление сельскохозяйственного использования территории, являются гидроморфизм почв, засоление и солонцеватость, обусловленные близким залеганием минерализованных грунтовых вод. Тип почв находится в тесной зависимости от геохимических условий местоположения в ландшафте, поэтому методологической основой для разделения земель явились закономерности геохимической миграции потоков вещества и энергии.

Несмотря на слабую общую расчлененность поверхности южной части Западно-Сибирской равнины, ее мезорельеф характеризуется наличием длинных и узких грив, ориентированных в основном с северо-востока на юго-запад в соответствии с общим понижением местности от Приобского плато с абсолютными отметками высот 230-235 м над уровнем моря к Барабинской низменности и Сума-Чебаклинской впадине, нижний уровень поверхности которой находится на высоте 104-107 м над у.м. Приобское плато представляет собой хорошо дренированное геоморфологическое образование, протянувшееся вдоль левого берега реки Обь. Это область рассоления с почвенным покровом, представленным в основном черноземами выщелоченными, в южной оконечности обыкновенными. На локальных склонах северной экспозиции преобладают серые и темно-серые лесные почвы часто осолоделые. При этом в нижних позициях рельефа на шлейфах склонов обнаруживаются солонцеватые разновидности лугово-черноземных почв и солонцы чаще глубокие и средние с долей участия не более 25%. На более крутых склонах, обращенных к реке Обь, часто осложненных глубоко врезанными ложбинами и оврагами, наблюдаются процессы водной эрозии, как плоскостной, так и линейной, увеличивающей контрастность почвенного покрова.

В Барабинской низменности сочетание процессов рассоления-засоления и осолонцевания привело к формированию сложного комплексного почвенного покрова. В элювиальных позициях расположены зональные почвы лесостепи – черноземы разных подтипов: от оподзоленных до южных, в более северных территориях часто встречаются серые лесные осолоделые почвы. В подчиненных позициях рельефа доминируют лугово-болотные почвы, часто засоленные, окруженные в приболотном поясе солончаками и солонцами луговыми корковыми и высокими. Транзитные позиции ландшафта характеризуются чрезвычайным множеством разнообразных комплексов лугово-черноземных и черноземно-луговых почв разных родов от выщелоченных и осолоделых до солонцеватых и солончаковатых с солонцами лугово-черноземными и луговыми с различной долей участия, солончаками, лугово-болотными почвами. Несмотря на кажущуюся хаотичность почвенного рисунка на крупномасштабном картографическом материале, ясно прослеживаются основные геохимические закономерности пространственного распределения почвенных ареалов в ландшафте.

Применительно к задачам агроэкологической оценки земель и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия была разработана ландшафтно-экологическая классификация земель на основе таксономической системы, предложенной в работах академика Кирюшина В.И. Ниже приведено описание некоторых агроэкологических групп земель исследуемой территории.

1 группа – Плакорные земли. Это дренированные поверхности Приобского плато и высоких грив Барабинской низменности, сформировавшиеся на четвертичных лессовидных или покровных суглинках. Преобладают автоморфные вариации крупных элементарных ареалов черноземов выщелоченных и их комплексов с серыми лесными осолоделыми почвами до 10%, сформировавшимися в микрозападинах, а также аналогичные комбинации черноземов обыкновенных с серыми лесными осолоделыми почвами. В составе группы плакорных

земель выделена подгруппа автоморфно-полугидроморфных земель, расположенных на повышенных плоских террасах, почвенный покров которых представлен лугово-черноземными выщелоченными почвами со слабыми признаками оглеения в профиле не выше 80 см и их комплексами с серыми лесными осолоделыми. В континентальных условиях Сибири, где на засушливые вегетационные периоды приходится 30% лет в многолетнем цикле, на таких землях могут быть применены зональные системы земледелия с ограничением по выращиванию озимых культур.

2 группа – Эрозионные земли. Группа включает в себя 4 подгруппы по степени и характеру проявления эрозионного процесса и наличию сопутствующего фактора – слабо выраженного переувлажнения: автоморфно-слабоэрозионные, автоморфно-среднеэрозионные, полугидроморфно-слабоэрозионные с плоскостной эрозией и полугидроморфно-слабоэрозионные с линейной эрозией. Слабоэрозионные земли расположены на склонах преимущественно южной экспозиции с уклонами 1-2°, $K_p < 0,5 \text{ км/км}^2$, представлены слабоэродированными ареалами чернозема выщелоченного и чернозема обыкновенного. Среднеэрозионные земли приурочены к склонам 1-3°, $K_p 1-2 \text{ км/км}^2$. Полугидроморфно-эрозионные земли с плоскостной эрозией сформировались на полого-увалистых дренированных равнинах с уклонами 1-3°, занятых лугово-черноземными слабосмытыми почвами. В контурах линейной формы, ложбинах с временными водотоками наблюдаются процессы линейной эрозии.

3 группа – Переувлажненные земли. Группа делится на 4 подгруппы: это слабопереувлажненные (полугидроморфные), среднепереувлажненные (гидроморфно-полугидроморфные), сильнопереувлажненные (гидроморфные) и заболоченные. Почвенный покров этой группы земель представлен различными комбинациями лугово-черноземных, черноземно-луговых, луговых почв с олодями и лугово-болотными почвами с разной долей участия, характеризуются средней и сильной контрастностью.

4 и 5 группы – Засоленные и Солонцовые земли. Генезис почв данных групп земель обусловлен влиянием близко залегающих минерализованных грунтовых вод, поэтому сельскохозяйственное использование земель ограничено совместным действием переувлажнения и засоления-солонцеватости в разной степени проявления. В связи с этим характер использования и агротехника возделывания культур существенно различаются. В масштабах местного ландшафта, соизмеримых с единицами сельскохозяйственного землепользования, может встречаться несколько агроэкологических групп земель, выделяемых в натуре на уровне подурочищ.

УДК [502.174: 626.877(292.471)]: 338.246

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Ергина Е.И. Ляшенко Д.А.

Институт «Таврическая академия» Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Крым, Симферополь, ergina65@mail.ru

В последнее время проведены многочисленные исследования изменений состава и свойств почв под воздействием их сельскохозяйственного использования, но исследований почв, которые формируются под воздействием современных «изменённых» условий, гораздо меньше, для Крымского полуострова таких работ крайне мало. Изучение особенностей почвообразования во времени является достаточно проблематичным. Решить методологические ограничения в этом вопросе способны региональные математические модели, описывающие процесс почвообразования во времени. Существующие ГОСТы проведения рекультивации нарушенных земель предусматривают стандартный подход ко всем техногенным ландшафтам страны и не учитывают специфику каждого вида ландшафтов. Это может привести к необоснованному удорожанию проектов рекультивации,

снижению их экономической эффективности и, как следствие, увеличению площадей, брошенных не рекультивируемых участков. Поэтому в современных экономических условиях на нарушенных землях целесообразными будут меры, стимулирующие процесс постепенного образования почв за счёт реализации почвообразовательного потенциала среды. В то же время очевидно, что процесс формирования почв в современных условиях почвообразования имеет весьма специфические условия, которые отличаются от процесса формирования зональных почв Крыма на протяжении голоцена. К сожалению, этот процесс сейчас малоизучен, но знание процедур функционирования современных почв может быть основой для разработки технологий управления их плодородием и процессами их самовосстановления.

Климатические и энергетические условия почвообразования в Крыму достаточно благоприятны и обеспечивают довольно высокие темпы формирования гумусового горизонта почв и гумуса на поверхностях отвалов. Но все же при существующих темпах рекультивации нужны будут десятки лет для возвращения земель в сельскохозяйственное использование. Проблема проведения на таких землях восстановительных мероприятий стоит сейчас в Республике наиболее остро, потому что многие карьеры, расположенные на этих землях, по сути, бесхозны. Такая ситуация обусловлена ещё и тем, что большая часть карьеров на месторождениях, особенно строительных материалов, по различным причинам не работает. Для многих карьеров отсутствуют проекты рекультивации нарушенных земель. При разработке проектов рекультивации нарушенных земель в Крыму необходимо учитывать мощность наносимого при рекультивации верхнего почвенно-растительного слоя, которая во многих нормативно-методических документах значительно варьирует – от 10 до 30 см. Для месторождений, которые находятся на территории зоны маломощных почв, нанесение верхнего горизонта почвы при рекультивации отвалов таким слоем бывает очень проблематичным из-за нескольких факторов: незначительными запасами почвенного материала в отвалах, обусловленных физико-географическими особенностями территории; большими потерями почвы в результате дефляции, ливневой эрозии и других физико-химических и механических деформаций поверхностей отвалов. Наиболее быстрое возобновление почв в таких условиях возможно лишь при реплантации почв (или землевании), когда на неплодородную поверхность наносится почва-реплантант, которая создается, как правило, из намывных почв. Качество реставрации таких субстратов, с почти отсутствующим почвенным покровом, будет пропорциональным мощности слоя реплантанта. Но реплантация связана с большими расходами на изготовление такой почвы, её перевозкой и монтажом, а потому в современных экономических условиях на техногенных отвалах горных пород и в выведенных из активного землепользования почвах Крыма целесообразным будет процесс постепенного образования почв без какого-то активного антропогенного влияния, или лишь за счёт залесения или залужения таких почвообразующих субстратов. В то же время очевидно, что процесс формирования почв сейчас имеет достаточно специфические условия, которые отличаются от процесса формирования зональных почв Крыма на протяжении голоцена. К сожалению, этот процесс является сейчас сравнительно малоизученным, но исследования особенностей формирования молодых почв необходимы по целому ряду причин. В частности, знание процедур функционирования современных почв может быть основой для разработки технологий управления их плодородием.

Основным методом исследования процессов самовосстановления почв может стать метод математического моделирования. Ранее нами проведены исследования пространственно-временных закономерностей формирования почв на разновозрастных почвообразующих породах, главным образом на поверхностях археологических объектов. Это позволило разработать специфические модели почвообразования, учитывающие почвообразующий потенциал природных факторов Крыма. Для территории нарушенных земель, где основными почвообразующими породами являются породы вскрыши, а это в основном лёссовидные

глины, суглинки, красно-бурые и желто-бурые глины, модель формирования гумусового горизонта почв имеет вид (Ергина, 2017):

$H = 162 \cdot \exp(-\exp(1,0 - 0,02 \cdot T))$, где H-мощность гумусового горизонта, мм; T- годы. Формула верна при T < 200 лет.

Учитывая метод аналогий (на основании которого нарушенные почвы рассматриваются как почвы, отброшенные по временной шкале назад), мы можем утверждать, что на ранних этапах почвообразования в естественных условиях возможно очень быстрое формирование почв в нарушенных ландшафтах. В том числе при их деградации в результате чрезмерной эксплуатации при сельскохозяйственном производстве (эрозионный смыл, дегумификация), а также при рекультивации отвалов отработанных месторождений (Ергина, 2017).

Согласно представленным моделям, в условиях Крымского полуострова на начальных этапах формирования почвы на рыхлых почвообразующих породах в возрасте от 10 до 50 лет, скорости почвообразования достигают максимальных значений 0,8–1,2 мм/год.

В дальнейшем темпы формирования гумусового горизонта значительно снижаются от 0,8 мм/год через 100 лет от начала почвообразования до 0,2 мм/год через 200 лет.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-20020

УДК 631.48

ГЕНЕЗИС ПОЧВ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ ПОЛЯРНОГО И ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА И ИХ КЛАССИФИКАЦИОННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Жангуров Е. В., Дымов А.А., Старцев В.В., Шамрикова Е.В., Королёв М.А., Панюков А.Н. Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail zhan.e@mail.ru

Территория Полярного и Приполярного Урала (68°30' – 64°50' с.ш.) ввиду трудной транспортной доступности относится к слабо и неравномерно изученным областям Уральского горного хребта в отношении почвенно-географических исследований.

Разнообразие фитоценозов, геоморфологических и ландшафтных условий, химических особенностей почвообразующих пород обуславливает высокое разнообразие почв, которое в настоящее время изучено недостаточно. Район исследований относится к зоне распространения массивно- и редкоостровных многолетнемерзлых льдистых пород, которые распространены в условиях славодренированных пологих склонов (с абсолютными высотами 350-450 м) различных хребтов.

Цель данной работы заключалась в изучении генезиса, разнообразия, ландшафтной приуроченности формирования, выявлении эталонных, редких (уникальных) почв.

Идентификацию исследуемых почв и генетических горизонтов осуществляли согласно «Полевому определителю почв России» (2008).

Эталонные почвы – ненарушенные почвы, наиболее распространенных типов и подтипов, отвечающие характерным ландшафтам горно-лесного, подгольцового и горно-тундрового высотных поясов Приполярного и Полярного Урала (табл). В эту группу включены основные эталоны (отделы: альфегумусовых почв, глеевых почв, органо-аккумулятивных почв, текстурно-дифференцированных почв, криометаморфических почв, торфяных почв) и локальные эталоны (отделы: литоземы, глеевые почвы с близким подстилением мерзлых пород). Исследуемые типы и подтипы почв встречаются достаточно часто и занимают значительную долю площади рассматриваемого ареала в общей структуре почвенного покрова.

Редкие почвы – формируются на малораспространенных почвообразующих породах и/или в необычных гидротермических условиях со сложной историей развития, отразившейся в строении профиля и свойствах почвы. В исследуемом нами регионе в эту группу относятся почвы из следующих отделов: стратоземы, слаборазвитых почв, альфегумусовых почв, органо-аккумулятивных почв. Они образуют разорванные и локальные ареалы, создавая

мелкоконтурные комплексы в общей структуре почвенного покрова. В качестве приоритетных объектов для подобных исследований нами были выбраны и исследованы почвы геологических памятников природы Приполярного Урала, которые представлены в ландшафте в виде живописных приречных скал (от 10 до 50 м и более в высоту и протяженностью 100-700 м), большей частью круто обрывающиеся в воду. На фоне относительно незначительных различий в климатических условиях и высотных отметок в рельефе, контрастное сочетание литологических и генетических типов слагающих пород, разнообразие растительного покрова определяют формирование здесь целого спектра «редких и уникальных» почв: карбопетроземов, перегнойно-криометаморфических, серогумусовых остаточных-карбонатных, подзолов (на карбонатных породах), в том числе различных пирогенных подтипов. Впервые исследованы почвы карстовых воронок. На основе профилно-генетического подхода проведена диагностика и определено классификационное положение ранее малоизученных почв, сформированных в различных ландшафтно-геоморфологических условиях. Дана морфологическая, физико-химическая и химическая характеристика исследуемых профилей почв. Региональные особенности исследованных нами почв заключаются в сочетании криогенного метаморфизма минеральной массы с альфегумусовым илювиированием (оподзоливанием) и выщелачиванием карбонатов со слабыми проявлениями партлювации и вмывания глинистого вещества (оглинивания) в нижней части профиля.

Таблица. Почвы высотных поясов Полярного и Приполярного Урала

Высотный пояс	условия увлажнения	Почвообразующие породы				известняки, мрамор
		Силикатные				
		кислые		средние и основные		
		легкие и средние суглинки	элюво-делювий плотных пород	элюво-делювий плотных пород		
горно-тундровый	атмосферное увлажнение	серогумусовые; дерново-криометаморфические	подбуры; подзолы; литоземы; глееземы; петроземы	подбуры; глееземы; литоземы; серогумусовые	перегнойно-темногумусовые криометаморфические; дерново-криометаморфические; карбо-литоземы; карбопетроземы	
	дополнительное увлажнение	торфяно-глееземы	дерново-подбуры; торфяно-подзолы; торфяно-подбуры; литоземы грубогумусовые	подбуры перегнойные;	перегнойно-криометаморфические	
	постоянное переувлажнение	торфяно-глееземы; торфяные олиготрофные			-	
подольный	атмосферное увлажнение	серогумусовые;	подбуры; подзолы;	подбуры глееземы	-	

		дерново-криометаморфические; светлоземы	литоземы; глееземы;	литоземы серогумусовые	
	дополнительное увлажнение	торфяно-глееземы; стратоземы серогумусовые	торфяно-подзолы; торфяно-подбуры; торфяно-литоземы	подбуры перегнойные;	-
	постоянное переувлажнение	торфяно-глееземы			-
горно-лесной	атмосферное увлажнение	подзолистые; светлоземы; дерново-криометаморфические; серогумусовые;	подбуры; подзолы; литоземы; глееземы	подбуры	карбо-литоземы; карбопетроземы; подзолы (!)
	дополнительное увлажнение	подзолистые грубогумусовые	торфяно-подзолы; торфяно-подбуры; торфяно-литоземы	подбуры	перегнойно-криометаморфические; торфяно-подзолы
	постоянное переувлажнение	торфяно-глееземы			-

Исследования выполнены в рамках бюджетной темы НИР (№12204060023-8).

УДК 631.466.1

ТВЕРДЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ КАК ОСОБОЕ МЕСТООБИТАНИЕ МИКОБИОТЫ ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Иванова А.Е., Валяев Д.А., Тютина В.В., Плотникова К.А., Колосова Е.Д., Сидорова Т.А., Бочков Д.А., Прокофьева Т.В., Бутылкина М.А., Умарова А.Б.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, e-mail: ivanovaane@gmail.com

Запыленность воздуха в городских экосистемах является важной современной экологической проблемой. Среди биологических компонентов пылеаэрозолей особое внимание в последние десятилетия начали обращать на объемы, состав и пути распространения грибов. Этот интерес обусловлен возрастанием числа инфекционных заболеваний грибной этиологии растений и животных, ростом аллергических заболеваний человека (Fisher et al., 2012). В составе органического вещества приземных аэрозолей грибы могут составлять до 10-14%, а в составе твердых взвешенных частиц размерами от 2 до 10 мкм (фракция РМ10) грибы являются основными компонентами, содержание которых превышает 60% данной фракции (Després et al., 2012). Известно, что почва и филлосфера являются основными поставщиками грибных частиц в воздух. В то же время взаимосвязи грибных сообществ в разных средах обитания исследованы недостаточно. До настоящего времени исследования почвенной грибной биоты и аэромикоты проводятся раздельно. Однако почва может быть как

источником для формирования грибного аэропланктона, так и стоком грибных частиц, находящихся в воздушной среде (Марфенина, Колосова, 2015). Тем не менее, объемы и состав присутствующих в твердых атмосферных выпадениях (пыли) грибов, их дальнейшая судьба, возможность развития в почве - исследованы крайне недостаточно.

Целью работы была комплексная сравнительная оценка объемов и структуры грибной биомассы и состава грибов в приземных аэрозолях, твердых атмосферных выпадениях и почве в городах Европейской части России, расположенных в разных природных условиях. Отбор образцов осуществляли в городах Сыктывкар, Москва, Краснодар и Сочи в летний период в разных функциональных зонах – придорожной и парковой. Воздушные аэрозоли отбирали с помощью аспиратора ПУ-1Б на высоте 1,5 м и 0,1 м в течение 3 дней подряд. Седиментацию грибных частиц из воздуха оценивали в течение этих же 3 дней в пластиковые контейнеры, установленные на почву. Пробы пыли отбирали компрессорным методом и методом сметов. Грибную биомассу оценивали методом прямой люминесцентной микроскопии при окрашивании калькофлуором белым (Методы..., 1991). Выделение культивируемых грибов из проб аэрозолей и при седиментации проводили посевом смывов, из пыли и почвы посевом разведений на питательные среды Чапека и картофельно-декстрозный агар. Для ряда образцов пыли и почв проведено сравнение полного таксономического состава грибов методом секвенирования нового поколения (NGS) на платформе Illumina на базе сервисной лаборатории ООО «БиоСпарк».

Анализ гранулометрического состава осевшей пыли, проведенный методом лазерной дифрактометрии, выявил, что доля частиц фракции PM10 во всех городах составляла 69-82% среди всех частиц менее 10 мкм. При анализе присутствия грибных частиц в составе этих пылевых отложений выявлено возрастание общих объемов грибной биомассы в городах в направлении с севера на юг. Оказалось, что биомасса грибов в пыли была представлена преимущественно спорами.

В аэрозолях и «свежих» твердых атмосферных выпадениях грибы также представлены в основном спорами, но в малых количествах обнаруживались и мицелиальные фрагменты (до 2 м/кв.м/сут в седиментах). Биомасса грибного мицелия в аэрозолях и седиментах незначительно возрастала в ряду городов с севера на юг. Среди грибных спор во всех городах по численности не менее 2/3 составляли мелкие споры диаметром менее 2,5 мкм. Однако в южных городах возрастало количество более крупных спор, относящихся к фракции PM10. Что обусловило увеличение в 2,5-3 раза общего объема поступающей при седиментации грибной биомассы в южных городах по сравнению с северными. И определило принципиальное различие биоморфологической структуры оседающей грибной биомассы в северных и южных городах: соотношение биомассы спор и мицелия в седиментах возрастало с 1,5-2 в Сыктывкаре до 15-35 в Москве и 60-80 в Краснодаре и Сочи. В поверхностных почвах исследованных городов содержание спор могло иногда несколько превышать биомассу мицелия, что часто отмечают для городских экосистем, однако абсолютная численность спор в почвах была в разы меньше, чем в пыли.

Отмечено, что во всех исследованных городах в составе аэрозолей и свежих седиментов содержание грибной биомассы в парковой зоне выше в 1,5-2 раза, чем в придорожной. На примере площадок в городе Москве показано, что основные объемы седиментации накапливаются в парковой зоне в ночное время, в придорожной зоне суточная динамика не выражена. Однако в пыли, оседающей и сохраняющейся на поверхностях почвы и травянистого яруса, содержание грибной биомассы больше в 1,5-6 раз во всех городах именно на придорожных участках, не в парковой зоне.

В воздухе содержание грибной биомассы может достигать 0,2-2 мг/куб.м, при этом на высоте дыхания человека (1,5 м) грибная биомасса в 1,3-1,6 раз меньше, чем над поверхностью почвы. С учетом объемов седиментации и грибной биомассы, сохраняющейся в осевшей пыли, можно предполагать, что значительная часть грибных пропагул

пылеаэрозолей продолжает циркулировать в надземном слое воздуха во взвешенном состоянии и лишь небольшая часть фиксируется на поверхности почвы.

При анализе комплексов культивируемых грибов выявлен аналогичный феномен: во всех городах видовое разнообразие грибов в составе аэрозолей и свежесыпавшихся седиментов выше в парковой зоне, и наоборот, в скапливающейся пыли - в придорожной зоне.

Доминируют виды, споры которых входят в размерные фракции пылевых частиц PM_{2.5} и PM₁₀. В седиментах и пыли преобладают темноокрашенные грибы, известные как аллергенные для человека, среди которых также много фитопатогенных видов. Обилие и разнообразие таких грибов значительно выше в южных городах Краснодаре и Сочи, чем в северных Сыктывкаре и Москве. В поверхностных слоях почв видовой состав грибных комплексов богаче и резко отличен от выявляемых в твердых атмосферных выпадениях, что подтверждено и при выделении грибов на питательные среды и методом высокопроизводительного секвенирования. Отмеченные заметные различия микобиоты приземных аэрозолей и свежих седиментов от пыли и от почвенной микобиоты позволяют рассматривать пыль как особое местообитание и оставляют открытым вопрос о развитии в почве грибов из твердых атмосферных выпадений.

Исследования проведены в рамках темы госзадания «Почвенные микробиомы: геномное разнообразие, функциональная активность, география и биотехнологический потенциал» (Номер ЦИТИС: 121040800174-6). Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды.

Список источников:

Марфенина О.Е., Колосова Е.Д. Грибы приземных слоев воздуха: их экологическая роль и перспективы исследований // Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. М., 2015. С. 151-153.

Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Д.Г.Звягинцева. М.: Изд-во МГУ. 1991. 303 с.

Després V.R., Huffman J.A., Burrows S.M., Hoose C., Safatov A.S., Buryak G., Fröhlich-Nowoisky J., Elbert W., Andreae M.O., Pöschl Ul., Jaenicke R. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review // *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2012. 64:1, 15598, DOI:10.3402/tellusb.v64i0.15598

Fisher M.C., Henk D.A., Briggs Ch.J., Brownsstein J.S., Madoff L.C., McCraw S.L., Gurr S.J. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health // *Nature*. 2012. Vol.484. DOI:10.1038/nature10947

УДК 631.46

КОНЦЕПЦИЯ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА НА ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

Кирюшин В.И.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, vkiryushin@rambler.ru

После земельной реформы 90-х годов возникло множество задач по упорядочению землепользования и развитию землеустройства с учетом новых социально-экономических условий, требований технологической модернизации сельского хозяйства и одновременно экологизации земледелия. Сложившаяся в советский период система землеустройства при всем ее значении страдала шаблонами директивного планирования и «экологической недостаточностью», хотя по мере интенсификации земледелия усиливалась роль его функций (экономических, экологических и природоохранных, социальных, правовых, инновационных).

Несмотря на разностороннее значение землеустройства и опыт развитых стран в регулировании землепользования, в России эти функции были сокращены до кадастрового

учета и отданы в основном на произвол рынка. Землеустроительная наука продолжала функционировать в системе ВУЗов, разрабатывались различные аспекты землепользования и землеустройства, но по-прежнему узким местом землеустройства оставалась его экологическая недостаточность, слабая дифференциация в соответствии с природными условиями. Попытки перевода его на ландшафтно-экологическую основу ограничились общими пожеланиями, поскольку не было разработано соответствующего механизма. Землеустроительная наука прошла мимо достижений адаптивно-ландшафтного земледелия и ландшафтного планирования. Между тем, в рамках теории адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) была разработана методология территориального планирования на ландшафтно-экологической основе. Она включает систему агроэкологической оценки, типологии и классификации земель, их агроэкологическую группировку, модели АЛСЗ, методику почвенно-ландшафтного картографирования и проектирования АЛСЗ в АгроГИС. Как составная часть АЛСЗ рассматриваются агротехнологии, их классификация и инструментарий освоения (федеральные и региональные регистры агротехнологий, реестры сортов, региональные реестры видов земель). АЛСЗ разрабатывались как составная часть землепользования и землеустройства, но не были восприняты научными и проектными организациями по землеустройству. Не был использован также отечественный и зарубежный опыт ландшафтного планирования.

Природно-экономической основой проектирования сельскохозяйственного природопользования, и соответственно землеустройства, является комплексная оценка земель, пришедшая на смену агропроизводственной группировке и бонитировке почв. Она построена на базе агроэкологической типизации земель, в которой структура и функции ландшафта рассматриваются через призму агроэкологических требований растений и технологий их возделывания. Система оценки представлена в иерархии: природно-сельскохозяйственная зона – провинция – агроэкологическая группа земель – агроэкологический вид земель. Агроэкономическая оценка видов земель характеризуется показателями продуктивности и экономической эффективности для трех уровней интенсификации агротехнологий. Информация об агроэкологических видах земель оформляется в виде зонально-провинциальных реестров.

Новая методология комплексной оценки земель реализуется посредством почвенно-ландшафтного картографирования в ГИС. Объектами картографирования являются элементарные ареалы агроландшафта (агроэкологические виды земель) в их структурно-функциональной иерархии. Они характеризуются структурой почвенного покрова, условиями мезо- и микрорельефа, почвообразующих пород, микроклимата, гидрологическими и гидрогеологическими условиями, свойствами почв, которые отражаются электронными картами с привязанными к ним базами данных. Путем взаимного их наложения формируют карту агроэкологических групп и видов земель. В пояснительной записке дается анализ использования земель и экологических последствий.

С учетом практического опыта проектирования и освоения АЛСЗ и ландшафтного планирования предлагается концепция территориального и внутрихозяйственного землеустройства на ландшафтно-экологической основе.

Важнейшая задача территориального землеустройства наряду с традиционным межхозяйственным землеустройством – размещение и обустройство региональных моделей агропромышленного производства, включающих модели земледелия, животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, обоснование специализации производства и адаптации к эколого-ландшафтным условиям.

Другой стороной территориального землеустройства является экологизация землепользования, в том числе: использование ландшафтного планирования для определения допустимой экологической нагрузки, предупреждения и устранения конфликтов природопользования; организация земель особо охраняемых территорий; проектирование экологического каркаса территории на федеральном и региональном уровнях.

Необходимым условием развития территориального планирования является создание региональных агрогеоинформационных систем в масштабе 1:100000, включающих природно-сельскохозяйственное районирование, агроэкологическую группировку земель, реестров агроэкологических видов земель, регистр агротехнологий, реестр сортов сельскохозяйственных культур.

Предлагаемая методология внутрихозяйственного землеустройства основывается на интеграции традиционного опыта и научно-производственного опыта проектирования и освоения адаптивно-ландшафтных систем земледелия. В качестве основы проектирования используется ГИС агроэкологической оценки земель, полученная в результате почвенно-ландшафтного картографирования. Основные алгоритмы проектирования включают: идентификацию агроэкологических групп и видов земель, то есть агроландшафтов и их элементарных ареалов; формирование соответственно моделей земледелия и агротехнологий; организацию территории с учетом почвенно-ландшафтных связей и социально-экономических условий; обоснование специализации производства, организации угодий, производственной и социальной инфраструктуры хозяйства.

В связи с вызовами интенсификации, экологизации и технологической модернизации земледелия усиливаются функции землеустройства в планировании и организации агротехнических, химических, осушительных и оросительных мелиораций, обеспечении их комплексности, обоснование систем использования мелиорируемых земель, размещения точных агротехнологий. На землеустройство ложится особая нагрузка и ответственность за обоснование стратегии интенсификации земледелия в хозяйстве, в особенности применения минеральных удобрений с учетом их системообразующего влияния на все элементы систем земледелия и окружающую среду. Одновременно требуется усиление контроля за деградацией почв и ландшафтов и ограничений использования деградирующих земель, за своевременным принятием решений по их консервации.

Восстановление государственного землеустройства и упорядочение использования земельных ресурсов в стране сопряжено с созданием земельной службы с функциями территориального и внутрихозяйственного землеустройства, государственного контроля за использованием и охраной земель, кадастровой оценки и инвентаризации земель, регулирования земельных отношений и рынка земель, проведения государственной агротехнологической и агроэкологической политики. Для этого необходимо создание системы проектных организаций, научно-инновационного и образовательного обеспечения.

УДК 631.4

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ТАЕЖНЫХ И ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Е.М. Лаптева, Д.А. Каверин, А.В. Пастухов, А.А. Дымов, В.В. Елсаков

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail: elena.lapteva.60@mail.ru

Проведена инвентаризация и систематизация данных о содержании и запасах углерода в различных типах почв таежных и тундровых экосистем европейского северо-востока России (на примере одного из его крупнейших регионов – Республики Коми). Обширный материал о почвах региона, собранный за практически 70-летний период исследований, частично опубликован, частично хранится в архивах Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» в виде рукописных отчетов. В связи со значительной площадью (416 тыс. км²) и протяженностью республики с севера на юг, в ее границах выделяют несколько биоклиматических зон и подзон (южная тундра, лесотундра, северная тайга, средняя тайга, южная тайга), каждая из которых характеризуется соответствующим составом и соотношением типом и подтипом почв.

Анализ архивных и опубликованных данных свидетельствует о том, что в почвах тундры и лесотундры запасы органического углерода (Сорг) в расчете на метровую толщ в среднем составляют 287 тС га^{-1} . Минимальные значения характерны для аллювиальных и криометаморфических почв (соответственно 130 ± 17 и $126 \pm 29 \text{ тС га}^{-1}$), максимальные – для различных типов торфяно-глееземов и торфяных почв (от 175 ± 27 до $635 \pm 138 \text{ тС га}^{-1}$). Возрастание гидроморфизма ведет к увеличению мощности органогенных горизонтов в почвах тундры и лесотундры и возрастанию соответственно запасов Сорг. Эта закономерность прослеживается как для почв водоразделов, так и для почв долинных ландшафтов.

В предгорьях Приполярного Урала минимальными запасами Сорг, вне зависимости от гранулометрического состава почвообразующих пород, характеризуются автоморфные почвы лесных экосистем (подзолы; подзолистые, в т.ч. глееподзолистые; светлосемы иллювиально-железистые) и аллювиальные почвы долинных ландшафтов – в среднем $100-120 \text{ тС га}^{-1}$. Второе место по запасам Сорг принадлежит почвам тундровых сообществ (подбуры, буроземы, дерново-криометаморфические почвы, глееземы) и почвам, формирующимся на выходах карбонатных пород – в среднем $160-200 \text{ тС га}^{-1}$. Третье место занимают все варианты полугидроморфных почв – в среднем $370-410 \text{ тС га}^{-1}$, четвертое – торфяные почвы болот (в среднем $2600-2700 \text{ тС га}^{-1}$).

В горных ландшафтах Приполярного Урала расчет запасов углерода, учитывая незначительную мощность профиля горных почв, выполнен на 0-50 см толщ почву с учетом содержания скелетной части (гравий, галька, валуны) в горизонтах почв. Показано, что запасы Сорг значительно варьируют в зависимости от типа почв и их принадлежности к высотному поясу. Так, в почвах горно-тундрового пояса запасы Сорг составляют $77-393 \text{ тС га}^{-1}$, горно-лесного – $65-118 \text{ тС га}^{-1}$. В силу ограниченности объектов исследования (каждый тип почвы представлен данными одного разреза), выявить какие-либо закономерности и зависимости запасов Сорг от типа почвы или гранулометрического состава почвообразующих пород на данный момент не представляется возможным. Можно отметить, что в среднем почвы горно-тундрового пояса характеризуются несколько более высокими показателями, по сравнению с почвами горно-лесного пояса. Это может быть обусловлено более жесткими условиями формирования почв, тормозящими скорость минерализации растительного опада и способствующими аккумуляции слаборазложенного растительного материала в виде оторфованных органогенных горизонтов.

Для равнинной части таежной зоны Республики Коми запасы Сорг оценены только для трех групп почв: (1) подзолов, сформированных на песчаных почвообразующих породах; (2) – подзолистых почв, сформированных на суглинистых отложениях; (3) болотно-подзолистых почв, развитых на почвообразующих породах различного гранулометрического состава – песках, супесях, суглинках, различных вариантах двучленных отложений. Минимальные запасы Сорг характерны для подзолов – $38.0 \pm 0.9 \text{ тС га}^{-1}$, максимальные – для полугидроморфных торфянисто-подзолисто-глееватых почв – $126.6 \pm 1.3 \text{ тС га}^{-1}$. Подзолистые суглинистые почвы, занимающие на водоразделах автоморфные позиции, имеют запасы Сорг в пределах $76.6 \pm 1.2 \text{ тС га}^{-1}$. Вклад органогенных горизонтов в запасы Сорг. составляет соответственно 31, 26, 28%. Общей закономерностью является возрастание запасов углерода в ряду: подзолы → подзолистые почвы → торфяно-подзолисто-глеевые почвы.

На примере полигона интенсивного типа «Ляльский», созданного в рамках реализации ВИП ГЗ для мониторинга потоков и динамики соединений углерода в лесных сообществах средней тайги, проведена оценка запасов углерода в почвах таежных лесов, развитых на двучленных почвообразующих породах ледникового генезиса. Установлено, что почвенный покров полигона весьма разнообразен – представлен почвами, относящимися, как минимум, к трем отделам (Альфегумусовые, Элювиальные, Текстурно-дифференцированные) и десяти типам (Подзолы, Торфяно-подзолы глеевые, Подзол-элювоземы, Дерново-подзол-элювоземы, Дерново-элювоземы, Элювоземы, Торфяно-элювоземы, Подзолистые, Дерново-

подзолистые). Наиболее широко представлены альфегумусовые почвы (19 пробных площадей), второе место занимают почвы элювиального отдела (9 пробных площадей), наименее представлены почвы отдела текстурно-дифференцированных почв (1 пробная площадь). Расчет запасов Сорг показал, что они варьируют в зависимости от типовой принадлежности почв от 62 до 181 тС га⁻¹. Нарастание степени гидроморфизма почв способствует аккумуляции органического вещества в органогенных горизонтах торфяно-подзолов глеевых. В них же, за счет формирования в минеральной части профиля иллювиально-гумусово-железистых горизонтов ВНФ, отмечено возрастание в метровой толще профиля запасов Сорг в 2.1-2.9 раза по сравнению с почвами автоморфного ряда – подзолами и элювоземами. Вклад органогенных горизонтов в общие запасы углерода органического возрастает от автоморфных к полугидроморфным почвам от 22 до 42%. В минеральной толще почв основную роль в формировании запасов Сорг играет аккумуляция органического вещества в первом полуметре профиля – 54-86%.

В докладе показана возможность использования пересчетных коэффициентов при сравнении данных о содержании Сорг, полученных разными методами (метод Тюрина, метод Уолкли-Блэка, газохроматографический метод с использованием СNH-анализатора), оценена возможность использования данных потерь при прокаливании при оценке запасов Сорг, показаны проблемы использования данных о плотности почв, полученных расчетным методом.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.42

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Макаров О.А., Цветнов Е.В., Абдулханова Д.Р., Карпова Д.В., Чекин М.Р., Крючков Н.Р.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, oa_makarov@mail

Анализ теоретических исследований и практической деятельности позволяет выделить следующие разновидности эколого-экономической оценки деградации земель:

- оценку экологического ущерба/вреда (фактического, предотвращенного, накопленного, вероятного и т.д.), связанного с загрязнением, деградацией и захлаплением почв и земель
- оценку величины ставок экологического налога при загрязнении, деградации и захлаплении земельных участков/экологических платежей при загрязнении и захлаплении земельных участков;
- корректировку стоимости земель (использование экологических поправочных коэффициентов к стоимости земельных участков, разработка специальных методов оценки загрязненных, деградированных и захлапленных земель);
- экономическую интерпретацию экосистемных сервисов (услуг).

Целью исследований явились - анализ различных методических приёмов эколого-экономической оценки деградации земель, их апробация для конкретных объектов и последующая систематизация как с позиции соотношения получения прибылей и причинения убытков, связанных с природопользованием, так и отнесения этих разновидностей к направлениям экономической науки, по-разному определяющим роль экономической деятельности человека в экологических системах.

В соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) проводился расчет величины ущерба от деградации земель агрохозяйств, расположенных в различных регионах Российской Федерации – в Волгоградской, Белгородской, Калининградской и Пензенской областях. В качестве показателей деградации земель агрохозяйств выступили – уменьшение содержания обменного калия, уменьшение содержания подвижного фосфора, уменьшение содержания гумуса, изменение показателя кислотности почв. Кроме того, для Волгоградской области использовался показатель осолонцевания земель, а для Белгородской области – эродированность почв. Выполненные расчеты свидетельствуют о значительном разбросе величин удельного суммарного ущерба от деградации почв и земель в различных субъектах Российской Федерации. Высокие значения указанного показателя были обнаружены для чернозёмных почв Белгородской и Пензенской областей, что может быть обусловлено значительными величинами нормативной стоимости земель (в качестве которой в данном случае выступала их кадастровая стоимость) для этих территорий. Существенная величина удельного суммарного ущерба для Калининградской области, который рассчитывался только по показателям агроистощения почв (увеличение кислотности, уменьшение содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия), прежде всего, выявляет недостатки агротехнических приемов.

На территории города Москвы и города Подольска Московской области были изучены почвы 6-ти участков, расположенных в функциональной зоне производственного назначения и территории транспортной инфраструктуры (то есть, все исследуемые участки испытывают техногенную нагрузку достаточно высокого уровня в силу своего функционального назначения). Была определена величина вероятного ущерба, который может быть нанесен почвам исследуемых участков в ближнесрочной перспективе в результате их предполагаемого загрязнения при существующем уровне техногенной нагрузки (в данном случае этот экономический показатель отражает риск загрязнения изучаемых городских почв тяжелыми металлами). Для всех участков величина фактического ущерба, нанесенного почвам загрязнением тяжелыми металлами, оказалась ниже величины вероятного ущерба, что может свидетельствовать о существующем потенциале дальнейшего загрязнения почв тяжелыми металлами.

Исследования по корректировке кадастровой стоимости земель проводились на территории Западного административного округа г. Москвы, где было выбрано три района (Крылатское, Филевский парк и Очаково). Корректировка стоимости земель сопровождалась расчетом показателя потери экологического качества (ППЭК) почв, который основан на пятиуровневой шкале потери экологического качества ОПС (шкала выведена с учетом уравнения Ричардса, описывающего логистическую форму зависимости между качеством экосистемы и нагрузкой на нее). Так, почвы, обладающие благоприятным состоянием (1-й и 2-й уровни потери экологического качества), осуществляют устойчивое функционирование в наземных экосистемах. После расчета ППЭК почв осуществлялась снижение кадастровой стоимости земельных участков: максимальное снижение составляло 71% от исходной величины стоимости.

Экономическая оценка экосистемных услуг почв проводилась для территории УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова. Блок услуг прямого обеспечения ресурсами включал в себя функцию почв «Среда обитания, аккумулятор и источник вещества и энергии для организмов суши», которая в качестве конкретной услуги проявляется через почвенное плодородие. Услуги защиты обеспечивались посредством выполнения таких функций почв, как «Защитный барьер биогеоценоза» (на изучаемой территории было отмечено незначительное загрязнение тяжелыми металлами, что позволило зафиксировать услугу защиты человека почвой от последствий данного типа загрязнения). Культурные услуги почв УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова были связаны с образовательной и научной деятельностью на этой территории. Деградация почв может послужить основанием для того, чтобы организовать серию выездов студентов вне базы для ознакомления с

недеградированными почвами (стоимость организации таких выездов является адекватным экономическим интерпретатором искомой образовательной услуги).

Проведенная апробация некоторых разновидностей эколого-экономической оценки деградации земель лишний раз подтвердила значительные возможности этого вида оценки земельных ресурсов и показала высокую степень разработанности практических методик и приёмов, позволяющих не только рассчитывать величину экономического урона, который наносится почвенному покрову и земельным ресурсам негативными процессами, но и определять перспективы дальнейшего использования территорий, оптимизировать систему налогообложения. Приведенные примеры апробации затрагивают и земли сельскохозяйственного назначения (агробизнеса в различных регионах Русской равнины, включая УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова), и городские земли Москвы и Подмосковья. Вообще, анализ системы эколого-экономической оценки деградации земель показывает преобладание тех её разновидностей, которые сопряжены с определением ущерба/вреда (фактического, предотвращенного, накопленного, вероятного и т.д.). Методы эколого-экономической оценки земель, где проводится сопоставление доходов и убытков (методика Й. фон Брауна, корректировка стоимости земель на основе сведений об их экологическом состоянии), являются наиболее сложными для реализации, но самыми перспективными с практической точки зрения.

Следовательно, оценку экологического ущерба со значительной степенью определенности можно отнести к вопросам экономики окружающей среды. К вопросам, изучаемым экологической экономикой, следует отнести оценку экосистемных сервисов почв и земель (представление об экосистемных сервисах базируется на концепции природного капитала), корректировку стоимости земель и оценку экологического налога/экологических платежей, которые отражают стремление человека к бережливости через экономическую эффективность и достижение экологически приемлемого экономического развития. Наконец, методики Й. фон Брауна и оценки вероятного риска загрязнения, деградации и захламления почв, позволяющие на основе эколого-экономического прогноза сократить отрицательное воздействие экономической деятельности человека на среду его обитания, можно считать относящимися к направлению зеленой экономики.

УДК 631.42

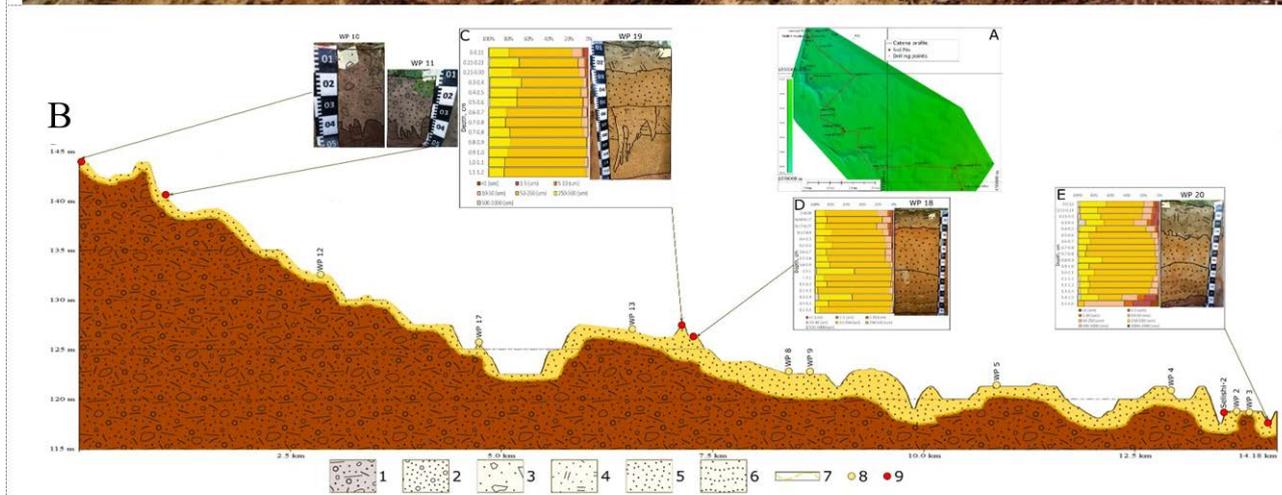
ЗАГАДКИ РЕК ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ: ПОЧВЕННО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

А.О. Макеев¹, П.Г. Куст², А.В. Русаков³, М.П. Лебедева²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, makeevao@gmail.com;

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, m_verba@mail.ru; СПбГУ, Санкт-Петербург, spp-06@mail.ru

Бассейн реки Волга в верхнем течении расположен в области московского оледенения и был полностью перекрыт ледниковыми отложениями. После деградации оледенения гидрографическая сеть формировалась заново, лишь на отдельных участках наследуя доледниковые долины, использовавшиеся реками как ложбины стока после отступления ледника. Участки доледникового террасового комплекса, перекрытые основной мореной представлены как ступени в рельефе долин. На участке между Калязином и Угличем плащ двучленных отложений (основная морена, перекрытая супесчано-песчаным покровным слоем) перекрывает моренные плато высотой до 145 м над уровнем моря, и спускается в долину Волги вплоть до уреза реки, перекрывая две террасовидные ступени на высотах 117-122 и 122 - 127 м над уровнем моря (Рисунок).



А. Почвы на двучленных отложениях над урезом реки; Б. Плащ двучленных отложений в долине реки и на прилегающем моренном плато.

Почвы на двучленных отложениях в долине реки и на прилегающих плакорх характеризуются одинаковым набором почвенных признаков. Сингенетичные контакты покровного слоя со смежными отложениями (камовые пески московского возраста), и его покровное залегание, указывает на образование покровного слоя во время дегляциации и отложения основной морены. Это подтверждается и датировками покровного слоя на участках моренного плато, прилегающих к камовым холмам (полученная по методу оптической люминесценции дата составляет 157.63 ± 9.37 тысяч лет назад). Таким образом, почвы на двучленных отложениях находились под воздействием гипергенных преобразований (почвообразование, криогенез) начиная с позднемосковского времени. В верхней толще морены представлена серия горизонтов ВТ, свойства которых в значительной степени формировались в микулинское межледниковье.

В позднем плейстоцене бассейн Верхней Волги входил в перигляциальную область валдайского оледенения. С деградацией валдайского ледника часто связывают распространение озер, заполняющих бассейн Верхней Волги до отметки 150 м над уровнем моря. Однако, озерные отложения в долине реки также отсутствуют, что указывает на ограниченное распространение позднеледниковых озер, обловленное локальными водоупорами. В позднеледниковье в условиях холодного и сухого климата произошла активизация эоловых процессов, что привело к частичной переработке покровного слоя двучленных отложений. В результате супесчано-пылеватый плащ эоловых осадков заполнил ложбины моренного рельефа. Также на террасовидных ступенях представлен дюнный рельеф. На участках с увеличенной мощностью покровного слоя почвы на двучленных отложениях оказались погребенными под слоем эоловых отложений мощностью до 2 м. Согласно результатам оптико-люминесцентного датирования по кварцу (Q OSL), активизация эоловой деятельности укладывается в диапазон 12.2 ± 0.6 - 17.5 ± 1.0 тысяч лет

назад вне зависимости от приуроченности ко второй или третьей ступени. Таким образом, погребенные почвы оказались вне зоны действия голоценового почвообразования. Сопоставление почв в поверхностном и погребенном залегании подтверждает предположение о существенной роли почвообразования микулинского межледниковья в формировании свойств горизонтов ВТ (структурная организация, многослойные кутаны). Изучение почв на двучленных отложениях в бассейне Верхней Волги показало, что в их профиле ясно читается литологическая матрица, позволяющее оценить генезис и эволюцию почв, а также проводить реконструкцию природных обстановок позднеледниковья. Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ (грант 23-17-00073).

УДК 631.4

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ В ЦИФРОВОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Мешалкина Ю.Л.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, jlmesh@list.ru

Цифровое земледелие включает в себя все множество инструментов, которые в цифровом виде собирают, хранят, анализируют электронные данные (информацию) в сельском хозяйстве и обмениваются ими до, во время и после внутрихозяйственного производства. Такие внутрихозяйственные технологии, как картографирование урожайности, мониторинг роста посевов с помощью БПЛА, выделение зон продуктивности в рамках севооборота, создание динамических картограмм агрохимических и агрофизических свойств требуют своего теоретического и практического обоснования, которое может быть сделано на базе цифровой почвенной картографии (ЦПК) – современного направления почвоведения, где традиционное генетическое почвоведение смыкается с современными компьютерными технологиями и разнообразными математическими методами для описания многообразия почвенного покрова. С практической точки зрения количественная оценка неопределенности почвенных карт и карт почвенных свойств позволяет судить об их пригодности для решения конкретных задач. Она необходима для анализа того, как неопределенность влияет на результаты моделирования параметров окружающей среды, что может иметь решающее значение для принятия управляющих решений. С точки зрения теоретического почвоведения необходимо ответить на вопрос, присуща ли неопределенность самой природе естественных и антропогенно-измененных почвенных объектов или же это характеристика субъекта, производящего оценивание, и имеющихся у него измерительных средств. Современный математический аппарат и компьютерные средства позволяют изучать неопределенности почвенных карт и карт почвенных свойств в зависимости от наличия информации и масштаба исследования. Оценка неопределенности на независимой случайной выборке позволяет решить многие из вышеперечисленных проблем на основе показателей, характеризующих карту в целом. Однако во многих случаях может потребоваться пространственно локализованная оценка неопределенности. В присутствии неопределенности невозможно идентифицировать единственную истинную реальность. Но, возможно, мы сможем определить все возможные реальности и вероятность для каждой из них. Осуществить это можно с помощью стохастического моделирования, когда возможная реальность моделируется на основании распределения вероятностей и генератора случайных чисел. Для почвенных свойств, пространственное распределение которых описывается транзитивной семивариограммой, кригинг как оптимальный предиктор предоставляет наиболее вероятные значения в любой точке изучаемого пространства. При этом, карта ошибок предсказания позволяет рассматривать почвенное свойство как стохастическую величину, характеризующуюся распределением вероятностей. Наггет-эффект, то есть варьирование на расстояниях, пренебрежимо малых с точки зрения опробования, будет существенно влиять на неопределенность прогноза. Для цифровых почвенных карт,

построенных с помощью дискриминантного анализа, нейронных сетей или других современных методов распознавания, аналогичные подходы могут быть разработаны на основании «зон стабильности» для пороговых значений вероятности, предложенных нами ранее. В развитии подходов, предложенных Н.П. Сорокиной, неопределенность почвенных карт, построенных традиционными методами, может быть оценена с использованием аппарата нечетких множеств на базе индикационной таблицы. В докладе обсуждаются изложенные подходы на конкретных примерах. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.453

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВЫБРОСАМИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЧИЛИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕСЯТИЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Неаман А.А.

Университет Тарапака, Арика, Чили, e-mail: alexander.neaman@gmail.com

Обобщены авторские исследования по фиторемедиации почв на техногенно загрязненной территории вблизи медеплавильного предприятия в области Вальпараисо центрального района Чили за десятилетний период. Проанализирован риск воздействия загрязненной почвы на здоровье населения. Рассмотрены фитостабилизация и фитоэкстракция как основные методы фиторемедиации почв. Установлено, что устранение лимитирующих факторов роста растений путем внесения в почву мелиорантов привело к самопроизвольному восстановлению растительности на исследованной техногенно загрязненной территории вокруг медеплавильного предприятия. Такой подход минимального вмешательства уменьшает затраты, присущие методам активного культивирования растений, что немаловажно в случае применения фиторемедиации на обширной территории. Также показано, что однократное внесение мелиорантов (известки или смеси известки и компоста) позволило создать самодостаточную систему, стабильную, по крайней мере, в течение 6 лет (Таблица 1). В условиях полусухого климата центрального района Чили нет необходимости повторного внесения мелиорантов. В свою очередь, отмечено, что недостатком метода фитоэкстракции является длительное время, необходимое для извлечения металлов из почвы. Предположим, следующие реалистические значения: плотность почвы – 1200 кг/м³, валовое содержание меди в почве – 1000 мг/кг, глубина накопления металла – 5 см. В этом случае содержание меди в почве будет 600 000 г/га. Если гипотетически предположить даже очень высокую скорость экстракции меди из почвы растениями – 1000 г/(га год) – то потребуется 300 лет, чтобы снизить валовое содержание меди в почве наполовину. Хотя применение биоразлагаемых хелатов может улучшить экстракцию металла из почвы, необходимое время все же достаточно велико, что делает практическую реализацию метода фитоэкстракции невозможной из-за отсутствия растений-гипераккумуляторов меди в Чили.

Таблица 1. Влияние мелиорантов и продолжительности эксперимента на проективное покрытие растительного покрова ($n = 12$) и сухую биомассу надземных органов растений ($n = 36$ в 2009 г. и $n = 6$ в 2015 г.).

Вариант	Проективное покрытие, %		Сухая биомасса, кг/га	
	2009	2015	2009	2015

Контроль	53±22 А	51±19 А	683±702 А	170±242 А
Известь	58±22 А	61±18 В	891±754 А	342±242 А
Известь+компост	82±14 В	82±13 С	4457±4338 В	625±368 А

Примечание. Различные заглавные буквы в колонке означают значимые различия между вариантами для определенного года ($p < 0.05$).

УДК 631.48:902.2:504.38:902.6:561

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГОЛОЦЕНА В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ

Овчинников А.Ю.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, ИФХиБПП РАН, Пушкино, e-mail ovchinnikov_a@inbox.ru

Для территории Нижнего Поволжья (Заволжья), стоянки неолитического и энеолитического времени недостаточно изучены. В регионе слабо исследованы палеопочвы, а также история развития и эволюция почв в предголоценом и голоценом. Проведенные исследования заключались в выявлении связей между периодичностью изменений климата, этапов смены осадконакопления и почвообразования, что отражает почвенно-экологические условия, происходившие на данной территории в голоценом. В работе представлены результаты исследований с использованием междисциплинарного методического подхода, проведенных на неэнеолитических археологических поселениях «Алгай» и «Орошаемое» Саратовской области (возраст поселений 5–7 тыс. лет до н.э.).

Изучались светло-каштановые карбонатные почвы (Eutric Cambisol (Loamic, Protocalcic, Ochric), в археологических раскопах представленные антропогенно-преобразованными вариантами. В исследовании применяли комплекс методов, включающий: почвенно-археологический, палеопочвенный, морфологический, методы определения физических и химических показателей, метод магнитной восприимчивости, метод радиоуглеродного датирования ^{14}C , микробиоморфный метод.

В результате проведенного исследования получена и уточнена информация о смене периодов увлажнения и аридизации территории, о периодичности этапов почвообразования и осадконакопления, о растительном покрове в голоценом. Полученные данные показали, что, начиная с 7,5 тысяч лет назад и по настоящее время происходила периодическая смена аридных условий к гумидным и наоборот. В периоды аридизации происходило медленное и кратковременное осадконакопление, что было связано с высокой скоростью выветривания и переноса (эолового) отложений. Периоды гумидизации характеризуются интенсивными процессами осадконакопления и почвообразования. Полученные данные показали, что за последние 5 тысяч лет происходит нарастание и усиление процессов гумидизации климата в регионе. Проведены расчеты скорости осадконакопления и почвообразования в голоценом для исследуемой территории. Интенсивность и скорость процессов осадконакопления и почвообразования на протяжении голоценом в регионе проявлялись по-разному. Скорость осадконакопления и формирования погребенных и современных почв в разные периоды голоценом варьировалась от 35 до 0.8 см/100 лет. Полученные результаты и их сравнение с имеющимися данными в литературе позволили дополнить и реконструировать природно-климатические и почвенно-экологические особенности территории. Реконструкция почвенных и экологических условий региона выявила неодинаковую палеогеографическую обстановку на разных территориях Нижнего Поволжья (Приволжья и Заволжья).

Выяснилось, периодическая смена экологических условий в голоцене рассматриваемого региона, сказывалась не только на формировании почв, но и влияла на жизнь, расселение и вероятно миграцию проживающих здесь племен.

УДК: 631.48

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ПРИЗНАКОВ В КРИОМОРФНЫХ ПОЧВАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАВОЛЖСКО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Поляков Д.Г.¹, Рябуха А.Г.¹, Ковда И.В.², Архангельская Т.А.³.

¹Институт степи УрО РАН, Оренбург, e-mail: polakovdg@yandex.ru;

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: ikovda@mail.ru;

³Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: arhangelskaia@gmail.com

Концепция памяти почв в понятийно несформированном виде использовалась начиная с работ К.Д. Глинки (1932). После разработки терминологии и понятийного аппарата В.О. Таргульяном и И.А. Соколовым (1978) концепция получила сильнейший импульс и выросла в обширное учение. Ведущую роль в этом сыграл В.О. Таргульян и его научная школа. К настоящему времени проблема памяти почв касается не только ее декодирования, но и анализа текущего и будущего поведения почв во времени (Память почв..., 2008).

Влияние свойств почв относящихся к «почва-памяти» на функционирование почв хорошо просматривается на примере палеокриогенных почвенных комплексов, которые изучались в пределах степной зоны Оренбургской области и сопредельных регионов. Они приурочены к участкам с оригинальным микрорельефом, напоминающим пятнистую тундру, и имеют своеобразную морфологию с выраженными разновозрастными криогенными признаками, более характерную для криогенных почв высоких широт, чем для почв степной зоны. Палеокриогенные почвы являются удачным объектом для исследования взаимодействия разновозрастных признаков в почвах и влияния реликтовых признаков на современное функционирование комплекса.

В строении комплекса хорошо прослеживаются палеомерзлотные макроформы в виде блоков и псевдоморфоз. Псевдоморфозы располагаются в полигональной сети микропонижений и представлены материалом, заместившим полигонально-жильные льды при их деградации. Они несут информацию о морфологии ледяных тел: их форму, глубину проникновения, полигональное пространственное расположение и др. Псевдоморфозы также могут содержать информацию о предыдущих этапах почвообразования, так как чаще всего заполнены материалом бывших поверхностных горизонтов. Палеомерзлотные блоки находятся в ячейках сети псевдоморфоз и характеризуются куполообразным микрорельефом, наличием криотурбаций, заклинков и измятых гумусированных прослоек в средней и нижней части профиля. Среди криотурбаций выделяются особые формы в виде диапиров, направленных из нижней части профиля к центру микроповышений, и зачастую достигающих дневной поверхности. По совокупности палеопризнаков исследуемые ландшафты являются реликтами пятнистой тундры плейстоцена, эволюционировавшими в условиях голоцена в степные комплексы, и сохранившие микрорельеф.

Палеокриогенные структуры – псевдоморфозы, сложенные гумусированным материалом, и палеомерзлотные блоки, сложенные криотурбированным минеральным материалом, а также соответствующий им микрорельеф, определили дифференциацию гидротермических режимов, почвообразовательных процессов и почвенного покрова в ходе посткриогенной эволюции ландшафта, которая сохраняется до настоящего времени.

В холодный период года почвы микроповышений имеют маломощный снежный покров, и за счет более низких температур глубже и интенсивнее промерзают. Кроме того промерзанию способствует засоление верхней части их профиля. Промерзание сопровождается зимним перераспределением влаги и интенсивным формированием шлировой криотекстуры, которая

обеспечивает морозное пучение и поддерживает микрорельеф. Совместно эти факторы усиливают засоление поверхности микроповышений. Летом испарительный режим микроповышений способствует фитильному эффекту поверхностного засоления почв, которое затрудняет биологическую деятельность, гумусообразование и гумусонакопление. В результате в центральной части микроповышений гумусовые горизонты практически не образуются, почвы в значительной степени сохраняют исходные литогенные свойства и плотность, имеют более высокую теплопроводность, что также обеспечивает быстрое и глубокое промерзание.

Микропонижения напротив промерзают слабее и на меньшую глубину, что связано с отепляющим эффектом мощного снежного покрова, блокированием промерзания из-за засоления приповерхностной части профиля, более низкой теплопроводностью. В теплый период года менее контрастный температурный режим (за счет перераспределения поверхностного увлажнения и густого растительного покрова), унаследованная гумусированность и большее содержание питательных элементов в материале, слагающем псевдоморфозы, аккумулятивное положение в микрорельефе обеспечивают более высокую биологическую активность, более интенсивное гумусообразование и гумусонакопление в микропонижениях.

На примере исследованных криоморфных почв показаны особенности памяти криогенного комплекса, управляющее воздействие реликтовых признаков на современные гидротермические условия и процессы почвообразования. Современные процессы, несмотря на принципиально иные экологические условия, способствуют сохранению реликтовых криогенных признаков, обеспечивают поддержание микрорельефа и формирование специфического горизонта плитчатой структуры. Горизонт образуется в результате современной криогенной метаморфизации и формируется преимущественно в минеральном материале палеомерзлотных блоков. Предлагается назвать его криоструктурнометаморфическим (индекс ВСМ).

Таким образом, сложилась в определенном виде феноменальная ситуация. Записанные в почвенной памяти изученных комплексов условия и процессы почвообразования или эволюционная память о криогенном прошлом выражена более ярко, чем признаки, характеризующие «почву-момент» или современную память – голоценовое почвообразование. Изученные комплексы сохраняют палеокриогенный микрорельеф, структуру контрастных блоков/псевдоморфоз, макро- и микроструктуру, определяющие современную морфологию, почвенный покров и функционирование почв комплекса. «Криогенный слой» памяти проявляется на разных иерархических уровнях, и отмечен нами на уровне педной организации, горизонтном, профилном и уровне почвенного покрова. Возможно, детальное исследование современными инструментальными и аналитическими методами сможет выявить ее и на более низких уровнях организации. Высокая степень сохранности и слабая преобразованность «криогенного слоя» палимпсестовой памяти почв может говорить о его высокой устойчивости к стиранию. Современная память почв на изученных объектах наиболее явно обнаружена на уровне педной организации. Подводя итог, можно резюмировать, что результатом взаимодействия разновозрастных почвенных признаков в криоморфных ландшафтах степной зоны Заволжско-Уральского региона является самоподдержание исходной реликтовой организации и структуры ландшафтов и почв на различных структурных уровнях.

УДК 631.4:504.53

ТВЕРДЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ, КАК ИСТОЧНИК ГИДРОФОБНОСТИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ И МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Прокофьева Т.В., Гончаров Н.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: tatianaprokofieva@yandex.ru

Основным агентом привноса антропогенных частиц в почву в городах являются твердые атмосферные выпадения (ТАВ). В составе городской пыли, в зависимости от местных особенностей, может встречаться большое количество частиц, оказывающих то или иное негативное воздействие на городские почвы. К таковым можно отнести частицы, содержащие тяжелые металлы, углеводородные аэрозоли (нефтепродукты), первичные биологические аэрозольные частицы, выбросы промышленных предприятий строительной отрасли. Микроморфологические исследования почв показывают высокую степень окатанности зерен скелета поверхностных горизонтов городских почв, присутствие окатанных микроартефактов, аналогичных по форме и составу частицам, переносимым по воздуху. При сопряженном изучении городской пыли и почв, в них обнаружено сходство в содержании углеводов, концентрации тяжелых металлов, составе микроорганизмов и других компонентов, что может указывать на участие ТАВ в формировании поверхностных горизонтов почв. Атмосферные выпадения содержат в себе много гидрофобных компонентов, прежде всего это нефтепродукты, соли, органические остатки и так называемый «чёрный углерод».

Известно, что и городские почвы часто отличаются повышенной гидрофобностью. В своем исследовании мы постарались оценить гидрофобность ряда образцов пыли и почв, смоделировать процесс гидрофобизации почв в условиях мегаполиса и подтвердить гипотезу о том, что материал пылевых выпадений оказывает влияние на свойства поверхностных горизонтов городских почв.

В качестве объектов исследования были выбраны почвы семи участков на территории Москвы и Московской области, имеющие разную степень техногенной нагрузки. Участки исследования отличаются по времени нахождения в городской черте и, следовательно, по длительности антропогенного воздействия: 1 – дерново-подзолистая почва в лесу Чашниково Московской области; 2 – дерново-подзолистая почва городского леса в природно-историческом парке Тушинский; 3 – постагrogenная дерново-подзолистая почва городского леса в природно-историческом парке Тушинский близ городской застройки; 4 – газон на участке культурных растений в БС МГУ; 5 – рекультивированный газон на перекрестке ул. Менделеевской и ул. Академика Хохлова; 6 – газон на территории ИМГРЭ РАН вдоль ул. Вересаева; 7 – газон на территории ИПЭЭ РАН на Ленинском проспекте. С другой стороны, они характеризуются разным типом функционального использования. Определены водоотталкивающие свойства образцов городской пыли и почв методом WDPT-теста (в десятикратной повторности), смоделирован процесс гидрофобизации дерново-подзолистых почв в условиях мегаполиса и оценена его скорость. Для этого смоделировано загрязнение ТАВ верхнего 10-см слоя дерново-подзолистой почвы исходя из среднегодовой аэральной нагрузки в г. Москве в 32.85 г/м^2 в год. Были взяты объемы пыли, эквивалентные 10, 20, 30, 40, 50, 70, 80, 90, 100, 150, 200-летнему загрязнению. Навески почвы, просеянной через 2 мм сито, массой 30 г вручную перемешали с загрязнителем и довели до воздушно-сухого состояния. Для уплотнения и равномерного распределения пыли внутри образца использовали вибрацию (вибростол Renfert Vibrax). В исследовании использовались три образца пыли с различными показателями WDPT-теста: 850 с, 420 с, 556 с. Образец пыли 1 может быть охарактеризован как сильно-гидрофобный (600–3600 с), образцы пыли 2 и 3 – как умеренно-гидрофобные (60-600 с).

По результатам модельного опыта показано, что с увеличением количества твердых атмосферных выпадений в материале дерново-подзолистой почвы увеличивается и уровень ее гидрофобности. Скорость увеличения зависит от водоотталкивающих свойств образца пылевых выпадений. При загрязнении сильно-гидрофобной пылью максимальная гидрофобизация образца достигается при 70-летней нагрузке (рисунок). Образец дерново-подзолистой почвы приобрел сильно-гидрофобные свойства (WDPT-тест 700 с). Для других образцов пыли наблюдалось постепенное увеличение времени впитывания капли вплоть до максимального срока аэрального загрязнения почвы в рамках модельного опыта (200 лет).

При загрязнении образцом пыли 2 почва достигла уровня слабой гидрофобности, при загрязнении образцом 3 – умеренной гидрофобности.

Показатели WDPT-теста для поверхностных горизонтов исследованных почв составили от 2.4 с для фоновой почвы (гидрофильная почва) до 1493.5 с для городской почвы (сильно-гидрофобная), сформировавшейся около крупной автомагистрали в течение 90 лет. В почве жилой застройки 40-летнего возраста показатель составил 237.1 с (умеренно-гидрофобная). Соответствие уровней гидрофобности, степени антропогенной нагрузки и времени пребывания участков в городской среде в модельном опыте и в образцах реальных городских почв на участках исследования свидетельствует о том, что твердые атмосферные выпадения являются составляющей гумусово-аккумулятивных горизонтов городских почв и оказывают существенное влияние на их водоотталкивающие свойства.

Результаты исследований оформлены в статью, принятую к публикации в журнал Почвоведение.

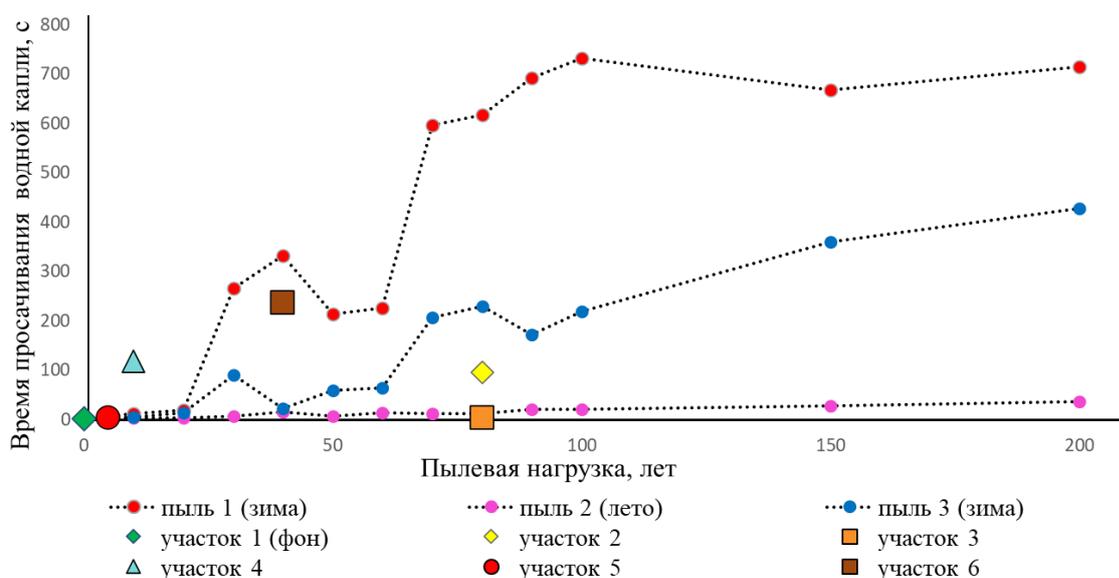


Рисунок. Скорость просачивания водной капли в зависимости от концентрации пыли 1, 2, или 3 в фоновом образце дерново-подзолистой почвы в сравнении с гидрофобностью почв на участках исследования

УДК 631.4:631.417.1:631.95:631.17

ОЦЕНКА СЕКВЕСТРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВ УПРАВЛЯЕМЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЕЁ ИНТЕГРАЦИЯ С НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА УГЛЕРОДА

Романенков В.А.^{1,2}, Мешалкина Ю.Л.¹, Горбачева А.Ю., Добровольская В.А.

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: romanenkov@soil.msu.ru;

²ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва

Роль почвенного органического углерода в глобальных углеродных циклах привлекает все большее внимание в качестве значительного естественного поглотителя углерода, способного снижать выбросы CO₂ в атмосферу. Стратегия поглощения углерода, получившая название технологии негативной эмиссии, базируется на внедрении углеродсберегающих практик в управляемых экосистемах. Неполное понимание того, как влияют на запас органического почвенного углерода изменения климата, землепользования, технологий и эдафических факторов, усложняет разработку платформ мониторинга, отчетности и проверки (MRV). Большая пространственная изменчивость и медленные временные изменения запасов С в почвах, в том числе при смене элементов агротехнологий,

происходящих климатических изменениях затрудняют обнаружение краткосрочных изменений, а также разработку надежных и простых в применении платформ. В связи с этим динамические углеродные модели, ранее использовавшиеся главным образом для фундаментальных исследований, стали в настоящее время применяться в региональных и глобальных масштабах для целей инвентаризации почвенного углерода и парниковых газов в почве. Подобный подход позволяет обеспечить третий уровень отчетности (либо внедрение отдельных его элементов при втором уровне) анализа оценки изменений запасов углерода Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов Межгосударственной экспертной комиссии по изменению климата (IPCC). Использование моделей связано с их верификацией по данным наземных мониторинговых и полевых исследований, с использованием дистанционных данных и результатов длительных полевых опытов. Предполагается, что модели обеспечат количественную оценку изменений запасов углерода в почве и потоков парниковых газов в платформах MRV.

Одной из наиболее используемых моделей в мире является Ротамстедская углеродная модель RothC. Её использование в нашей работе было обусловлено составлением Глобальной карты секвестрации почвенного углерода в слое верхнем 30 см слое пахотных почв по методике ФАО, а затем она неоднократно уточнялась с привлечением доступного объема локальных и региональных данных о пахотных почвах. Источниками входных данных, использованных при параметризации модели, являлись агроклиматические данные БД Climatic Research Unit (CRU) TS v4.05, 1901-2020, доступные по полуградусной регулярной сетке: среднемесячная температура воздуха, среднемесячное количество осадков, среднемесячная потенциальная эвапотранспирация; почвенные данные - запасы органического С почвы на глубине 0 – 30 см из БД Национальная карта запасов почвенного органического углерода и содержание фракции ила (частиц < 0,002 мм) из карты почвенных свойств SoilGrids250m версия 2.0; данные текущего землепользования, на основе которых рассчитывалось поступление С в почву с растительными остатками. Для расчёта использовались продукты со спутника MODIS MOD13A1.006 Terra Vegetation Indices 2018 – 2020 гг., на основании которых оценивалась NPP по данным температуры, осадков и длительности вегетации либо доступные данные сельскохозяйственной статистики Росстата по муниципальным районам и данные Агротехслужб Минсельхоза России. Расчёты проведены на основе специально созданной в ходе данной работы актуальной маски пахотных земель России, соответствующей 2020 г. Подробно методика параметризации изложена в публикациях Романенков и др. (2023,2024).

Полученные результаты потенциальной возможности секвестрации углерода пахотными почвами с пространственным разрешением 1 км в 2020–2040 гг. при внедрении углеродсберегающих технологий (УТ), увеличивающих поступление С в почвы на 5-20%, показывают, что при применении УТ в течение 20 лет суммарно потенциальную скорость секвестрации пахотными почвами РФ в слое 0–30 см можно оценить в размере 17 Мт/год. Ожидаемая суммарная секвестрация обеспечивает России 5 место в ряду стран максимального потенциала глобальной секвестрации органического углерода почвы сельхозземлями. Абсолютные величины секвестрации для каждой зоны почвенно-экологического районирования, за исключением зоны светло-каштановых и бурых почв полупустыни, где она практически не отличается от нуля, в национальном масштабе положительны и изменяются от 20 до 70 кг С/год при неизменном хозяйствовании. Наиболее перспективной для секвестрации С территорией, на которой целесообразно планировать увеличивать поступление С растительных остатков в почву при реализации стратегии секвестрации, является зона лесостепи, где возможно обеспечение устойчивого накопления углерода в двадцатилетний период. При этом для природно-климатической зоны серых лесных почв лиственных лесов достичь скорости накопления органического С в 2 промилле возможно при внедрении УТ, обеспечивающих дополнительное поступление 10% С с растительными остатками, а для зоны оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов

и серых лесных почв лесостепи - с УТ при дополнительном поступлении 20% С с растительными остатками. Увеличение поступления углерода на 5% при внедрении УТ может обусловить рост секвестрации углерода с 70 до 100-120 кг С/год, а на 20% – до 180-250 кг С/год, что соответствует потенциалу секвестрации органического углерода для пахотных почв климатических зон умеренно-влажного континентального климата Глобальной карты секвестрации почвенного углерода. За 20 лет запас почвенного углерода возрастает в среднем на 600 кг С/га для УТ при дополнительном поступлении 5% С с растительными остатками и 2500 кг С/га – при дополнительном поступлении 20%. Южнее, в зоне распространения обыкновенных и южных черноземов степи, можно ожидать поддержания текущих запасов углерода при условии сохранения современного уровня продуктивности агроценозов до 2040 г. Общей закономерностью для агрочернозёмов, где поступление С при неизменном хозяйствовании оказывается недостаточным для поддержания текущих запасов С, является низкий потенциал секвестрации. При внедрении УТ этом наблюдаются следующие тенденции: период накопления ограничен 2040 г, с выходом на равновесный уровень в зависимости от начальных запасов С почвы, а также потеря ранее накопленных запасов после 2060-80 гг. Модификация севооборотов даёт возможность дополнительной секвестрации в течение нескольких лет по сравнению с исходными севооборотами, что позволяет использовать преимущества климатических изменений, но скорость накопления в 2040-60 гг. ограничивается 1-2 промилле при запасах органического С почвы 60-80 т/га. Как показывают более детальные исследования, основанные на наземных данных Росстата и длительных полевых опытов в Ростовской области, в реальности для большого количества контуров, при ежегодном варьировании поступления С на 0,5-1,5 т/га по сравнению с оценками на основе дистанционного зондирования, удается обеспечить поддержание исходных запасов С либо слабый прирост органического С, несмотря на возможное увеличение урожайности в условиях будущего климата, даже при реализации УТ, обеспечивающих 5% рост поступления С. Использование комплекса показателей - ожидаемых относительных среднегодовых изменений запасов С почвы, абсолютных запасов С, ежегодного поступления С с растительной биомассой и органическими удобрениями, скорости достижения нового равновесного состояния запасов С в условиях будущего климата даёт возможность оценивать эффективность внедрения УТ и адаптационных решений, учитывающих климатические изменения. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 631.48+631.46 +551.243+551.254+551.3 (470.23)

ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВЫЕ ГЛИНЫ ЦЕНТРА ЯРОСЛАВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ: СВОЙСТВА, ВОЗРАСТ, ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ СЕДИМЕНТАЦИИ И РОЛЬ В КАЧЕСТВЕ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО МАРКЕРА В ПРОБЛЕМЕ ГЕНЕЗИСА ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЧВ

Русаков А.В.¹, Макеев А.О.², Мокиевский Н.В.², Хохлова О.С.³, Лебедева М.П.⁴

¹ СПбГУ, Санкт-Петербург, spp-06@mail.ru;

² МГУ имени М.В. Ломоносова;

³ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН;

⁴ ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Москва

Для выявления финального этапа эолового осадконакопления в перигляциальной зоне в позднеледниковье, играющего ключевую роль в проблеме генезиса поверхностных почв, был

выбран, на основе результатов крупномасштабного почвенного картографирования, ключевой массив, охватывающий плоско-западинную террасовидную поверхность Борисоглебской возвышенности с а. о. 150–160 м, обособленную от макросклона северной экспозиции возвышенности долинами рек Вогры, Ильмы и Устья. Характерной особенностью почвообразующих пород здесь является наличие озерных суглинков и глин, подстилаемых на глубине ~2.0 м московской мореной, и в ряде случаев перекрытых тонким (до 0.5–1.0 м) плащом пылевато-супесчаных отложений. Полученная на основе метода ОСЛ дата по глинам (15.5 ± 1.2 тыс. л. н.) предварительно позволила отнести время седиментации этих отложений к вепсовской стадии валдайского криохрона. Необходимо отметить, что озерные глины, по проведенным нами ранее исследованиям, отличаются темно-бурой окраской, плотным сложением, наличием пористости и отчетливо выраженной трещиноватостью, в том числе, обусловленной морозобойными процессами, и тонкоплитчатой структурой. Также в этих глинах отсутствует крупный валунно-галечный материал; иногда наблюдаются включения окатанного мелкого гравия. По минералогическому составу илистой фракции исследованные породы можно классифицировать как относящиеся к отложениям монтмориллонит-каолинит-гидрослюдистой провинции морен, выделенной в том числе и в пределах московского оледенения. По фазовому минералогическому составу озёрно-ледниковые глины выделяются присутствием хлорита, что, с учётом занимаемой ими гипсометрической позиции, позволяет предполагать поступление материала, содержащего этот минерал "извне", например, «водным» путем.

Озерные глины по морфологическим (на макро-, мезо- и микроуровне, при котором диагностирована чешуйчато-зернистая тонкодисперсная микромакса) и физико-химическим свойствам также заметно отличаются как от лессовидных суглинков, так и от моренных отложений, что позволяет нам расширить компонентный состав пород перигляциального литогенеза северной части приледниковой зоны Русской равнины, ограниченной линиями максимального распространения московского и валдайского ледниковых покровов, и рассматривать их в качестве педостратиграфического репера при установлении генезиса голоценовых почв.

Изучена катена и траншея в ее центральной части, приуроченная к тыловому шву террасовидной древнеозерной поверхности и склону моренного холма, вскрывающая латеральный контакт озерно-ледниковых глин и морены (береговая зона озера). Особенностью почв разрезов и траншеи является морфологически сходный верхний покровный слой, представленный легко- (средне-) суглинистым пылевато-супесчаным материалом, иногда с примесью включений дресвяного окатанного материала и редких валунчиков; обоснован статистически однородный в латеральном протяжении гранулометрический состав этого слоя. Морена в основании траншеи залегает на глубине 160–220 см, имеет четкие признаки древнего (микулинского?) мезоморфного педогенеза в виде тонкоплитчатой структуры, двух генераций темно-бурых глинистых кутан, не диагностированных в перекрывающей толще.

В траншее непосредственно под покровным слоем латерально сменяют друг друга: (1) вложенная ванна супесчано-пылеватого тонкосортированного материала мощностью 30 см с включениями розоватых линз легкосуглинистого пылеватого состава и в основании ванны – буровато-желтых линз среднезернистого песчаного материала и (2) 30-см слой пылеватого белесовато-палевого листовато-тонкоплитчатого материала с включением прослоев в виде морфонов суглинистого пылеватого материала красновато-бурой окраски. Глубже (60–100 см) залегает слой древнеозерных глин, сменяющийся (до резкой границы с мореной) слоистой суглинисто-глинистой толщей с включением в различной степени оглеенных морфонов с хорошо выраженными следами древнего педогенеза в виде маломощных (до 3 см) прогумусированных зон с явными криогенными нарушениями.

Таким образом, с уверенностью можно констатировать наличие заключительного этапа эоловой седиментации в позднеледниковье, приведшего к формированию верхнего пылеватого наноса, перекрывающие различные породы (моренные суглинки, древнеозерные отложения преимущественно суглинисто-глинистого состава, в том числе с морфонами пылеватого легкосуглинистого материала). В жизни древнего озера установлены субэзральные перерывы, которые сопровождались почвообразованием. Так, в нижней части озерных глин выявлено 3–4 ритма позднеледникового педогенеза (дерново-глеватые почвы?) по наличию линз гумусированного материала. Анализ морфогенетических свойств данных фрагментов палеопочв (педоседиментов) позволяет предположительно отнести их к средневалдайскому (МИС3) мегаинтерстадиалу; палеопочвы схожего строения были описаны нами на территории Верхней Волги в ранее изученных разрезах Щетинское, Косково и Черемошник. Для подстилающей московской морены установлено отсутствие оглеения и наличие следов древнего (микулинского, стадия МИС5е) педогенеза. О перерывах в осадконакоплении свидетельствуют и особенности криогенных структур, охватывающих изученные литологические слои в пределах траншеи. Можно выделить несколько разновозрастных горизонтов, нижний из которых представлен серией криогенных клиньев. Наиболее мощная клиновидная структура пробивает все слои озерных отложений и моренную толщу. По-видимому, речь идет о владимирском криогенном этапе (?). С палеогеографической точки зрения остается открытым вопрос о максимальном уровне поднятия локальных или региональных приледниковых озер в позднем плейстоцене, подпоров водных бассейнов и порогов стока. Решение этих дискуссионных проблем может быть осуществлено только в рамках комплексного междисциплинарного исследования специалистов различного профиля наук о Земле. Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ (грант 23-17-00073).

УДК 631.471

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АГРОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПОЧВ
Соколова Н.А.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, nsokolova@issa-siberia.ru

Почвенный покров лесостепи юга Западной Сибири весьма неоднороден, что обусловлено как биоклиматическими и геологическими условиями его формирования, так и степенью антропогенного освоения. Наиболее вовлечены в сельскохозяйственный оборот плодородные почвы лесостепи: черноземы криогенно-мицеллярные и глинисто-иллювиальные, а также серые лесные почвы. В связи с фациальными особенностями (малой мощностью гумусового профиля, ее вариативностью на разных элементах рельефа, легкой минерализацией органического вещества при распашке) целинные почвы при агрогенной трансформации частично меняют и водно-физические свойства, и вещественный состав. Крупномасштабные почвенные обследования проводятся в настоящее время в основном по заказу хозяйствующих субъектов, поэтому данных о современном состоянии агропочв новосибирской области немного. В целях мониторинга плодородия агротрансформированных почв на большей территории целесообразно использовать данные дистанционного зондирования Земли и их связи с показателями почвенных свойств. Целью данного исследования было выявление связей между спектральными яркостями в разных диапазонах и рассчитанными на их основе индексами и показателями почвенных свойств. В 2019 году было проведено полевое почвенное обследование на территории Искитимского района Новосибирской области и скорректирована имеющаяся крупномасштабная почвенная карта. В почвенном покрове района исследований выделены ряды агротрансформации: чернозем криогенно-мицеллярный – агрочернозем криогенно-мицеллярный – агрозем темный криогенно-мицеллярный; чернозем глинисто-иллювиальный – агрочернозем глинисто-иллювиальный – агрозем темный глинисто-иллювиальный; темно-серая лесная

почва – агротемно-серая почва – агрозем текстурно-дифференцированный. Аналитические исследования показывают, что в рядах агрогенной трансформации снижается содержание гумуса с 6,5 – 7,3% до 3,5 – 5,5% в рядах черноземов и с 5,7% до 2% в серых почвах. На поверхностях даже с небольшим уклоном при распашке усиливаются процессы плоскостной эрозии, и с учетом небольшой мощности гумусового профиля в пашню вовлекается нижележащий переходный горизонт АВ либо АЕЛ. При этом в разных рядах агротрансформации почв это сопровождается разнонаправленными изменениями вещественного состава. Для черноземов наблюдается снижение содержания обменных оснований, для агросерых почв – напротив, увеличение. Во всех случаях наблюдается увеличение плотности сложения, а для агроземов темных глинисто-иллювиальных и агросерых почв – увеличение содержания физической глины в верхнем горизонте. Исследования показывают, что изменения в физико-химических свойствах почв влияют на яркость спектральных снимков. Для анализа связей спектральной яркости в разных диапазонах и параметров почвенных свойств были взяты снимки с КА Landsat 8. Снимки были подвергнуты атмосферной коррекции в среде QGIS и выделены контуры полей с открытой поверхностью почвы. Поверхность целинных почв покрыта растительностью, поэтому для расчета связей за основу были взяты значения яркости только агропочв в точках опробования.

Таблица. Корреляционные связи между параметрами почвенных свойств и значениями яркости космических снимков и индексах на их основе.

Значения яркости космических снимков и индексов	Ca ²⁺ , моль-экв/100 г	Mg ²⁺ , моль-экв/100 г	C _{орг} , %	Содержание частиц <0,01 мм, %	CaCO ₃ , %
Soil Composition Index	-0,72	-0,43	-0,60	-0,30	-0,68
Soil Background Line	0,37	0,02	0,72	-0,08	0,62
NDVI	0,33	0,01	0,68	-0,05	0,65
NDSI	0,56	0,55	0,04	0,71	0,55
Coloration Index	-0,22	-0,08	-0,75	0,49	-0,16
B7	-0,11	-0,49	0,53	-0,37	0,47
B6	0,13	-0,22	0,50	-0,07	0,61
B5	0,49	0,14	0,60	0,13	0,68
B4	0,15	0,29	-0,60	0,56	-0,09
B3	0,62	0,47	0,24	0,52	0,71
B2	0,37	0,47	-0,34	0,51	0,05

Анализ параметров показал значительные корреляционные связи (n = 15) между индексом NDSI и содержанием физической глины; содержанием карбонатов и Ca²⁺ и индексом Soil Composition; индексом Soil Background Line и содержанием C_{орг}; между значениями индекса NDVI и содержанием C_{орг} и CaCO₃; между значениями индекса Coloration Index и C_{орг}; между значениями яркости в ближнем инфракрасном и зеленом диапазоне и содержанием CaCO₃. Комбинированное изображение с использованием в качестве каналов NDSI, SBL, SC и CI позволяет выделить локальные ложбины стока и замкнутые понижения, а соответственно, агропочвы с различной направленностью агрогенной трансформации. Дальнейшая классификация комбинированных изображений с сочетанием разных индексов позволяет скорректировать имеющиеся почвенные карты сельскохозяйственных угодий.

УДК 631.45

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ И ПОВЫШЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

Степанов А.Л., Козлова Е.А., Лысак Л.В., Манучарова Н.А.

Факультет почвоведения Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Москва; e-mail: stepanov_aleksey@mail.ru

Гуминовые кислоты — неотъемлемая составляющая почв, во многом определяющая её устойчивость к загрязнению распространёнными экотоксикантами и способность к самоочищению. Существенное влияние на процессы формирования, состав и свойства гуминовых кислот оказывают микробные сообщества почв. Изучение взаимодействия гуминовых кислот и микроорганизмов представляет практический интерес, поскольку полученные данные можно использовать для создания бактериальных препаратов на основе гуминовых кислот, применение которых перспективно в целях ремедиации почв и других объектов окружающей среды от экотоксикантов. Целью работы было исследование возможности сорбции гуминовых кислот на микробных клетках и создание бактогумусовых препаратов нового поколения для повышения устойчивости и активности целевых микробных популяций в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, подземных водах). Работа проводилась с 5 % раствором гумата калия и чистыми культурами бактерий родов *Rhodococcus*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Cytophaga*, *Erwinia*, а также нативным микробным комплексом, выделенным из перегнойно-глеевой почвы (Чашниково, Моск. обл.). Эксперименты по детоксикации почв от нефтепродуктов и тяжёлых металлов проводились с дерново-подзолистой почвой. В качестве загрязнителя вносились нефть, дизельное топливо в концентрациях 2, 4% и водорастворимых солей металлов (сульфата меди и ацетата свинца) в пятикратном превышении их предельно-допустимой концентрации. В качестве тест-культуры высаживались растения кресс-салата. В результате исследований, разработана технология сорбции ГК на микробных клетках, подтвержденная методом электронной микроскопии. Обнаружено положительное действие бактогумусовых препаратов, превышающее эффект от инокуляции чистых культур бактериальных суспензий на 50–90 %. Установлено, что исследованные бактерии способны поддерживать численность в составе препарата на основе гуминовых кислот более одного года. Обнаружена способность сохранения в течение длительного периода времени целевых популяций бактерий в объектах окружающей среды, в случае их внесения в составе бактогумусовых препаратов. Применение бактогумусовых препаратов позволило эффективно провести ремедиацию почв, загрязнённых нефтью, нефтепродуктами и тяжёлыми металлами в течение одного вегетационного периода, что выразилось в увеличении биомассы выращенных растений, повышении биологической активности почвы и снижении концентрации поллютантов за счет микробной деструкции (в случае с углеводородами) и снижению токсичности тяжёлых металлов за счет уменьшения их подвижности и биодоступности в почве в результате связывания с гуминовыми кислотами. Полученные данные служат основой создания и применения бактогумусовых препаратов, представляющих собой устойчивый комплекс гуминовых кислот и микроорганизмов, длительное время сохраняющих свои свойства в условиях хранения, внесения в почву и высокоэффективных в целях ремедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами и нефтепродуктами.

УДК 551.4.07, 631.48, 551.89

ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЕ ПОЧВЕННО-СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ АРХИВЫ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И ОКСКО-ДОНСКОЙ РАВИНЫ И ИХ СВЯЗЬ С СОВРЕМЕННЫМ И ПАЛЕОРЕЛЬЕФОМ

Сычева С.А.

Институт географии РАН, e-mail: sychevasa@mail.ru

Позднеплейстоценовые почвенно-седиментационные архивы возвышенностей и низменностей Восточно-Европейской равнины, как и их геоморфологические системы: плакоры, склоны, флювиальная долинно-балочная сеть, различаются детальностью

отражения природно-климатических изменений и их сохранностью. Для основных геоморфологических поверхностей: 1 – плакоров, высоких древних террас и склонов к ним; 2 – погребенных депрессий; 3 – молодых II и I надпойменных террас, позднеледниковых оврагов характерны следующие типы записи ландшафто-климатических событий позднего плейстоцена: А – сжатая (наложенная, совмещенная или палимсентная); В – детальная (развернутая, книгоподобная, высокоразрешающая), С – частично или полностью уничтоженная (неполная, денудационная, стертая). На основе анализа многочисленных лессово-почвенных разрезов Среднерусской возвышенности и Окско-Донской равнины нами выделены разные типы педоседиментационных архивов позднего плейстоцена. Многие исследователи, отдавая предпочтение эоловой гипотезе происхождения лессов и аргументируя тем, что почвы, развитые на плакорах, наилучшим образом отражают зональные условия формирования, считают, что только такие почвы могут быть использованы для стратиграфических построений (педостратиграфии) и реконструкций природно-климатических обстановок прошлого (палеогеографии). Действительно, палеопочвы зональных типов сохраняются на плакорах, но только низменных равнин. Однако в профилях автономных палеопочв отразились не все эволюционные стадии, а лишь наиболее энергетически ёмкие (оптимальные) и заключительные, функционировавшие непосредственно перед погребением. Другие трудно расшифровать, так как они могли быть наложены на уже сформированный, сходный профиль, а некоторые частично или полностью уничтожены в последующий эрозионный этап. Такие записи лессово-почвенных архивов (тип архива 1А), как правило, представлены на плакорах низменностей: Приднепровской, Окско-Донской и других.

Для позднеплейстоценовых педоседиментационных архивов плакоров Окско-Донской равнины из-за малой степени расчлененности рельефа и низких скоростей осадконакопления палеоландшафтная запись сжата или спрессована. В лессово-почвенных разрезах представлены позднеплейстоценовые палеопочвы, фиксирующие только главные климатические сигналы – микулинское межледниковье и интерстадиалы: ранневалдайский – крутицкий и средневалдайский – брянский. Менее продолжительные и менее теплые климатические импульсы не нашли отражение в таких архивах. Но и даже выделенные палеопочвы не разделены лессом. Салынская палеопочва микулинского межледниковья и интерстадиальная крутицкая палеопочва частично совмещены или наложены друг на друга и образуют составной профиль мезинского педокомплекса. В некоторых разрезах (Михайлов, Новопокровка) не только брянская палеопочва наложена и даже отчасти совмещена с мезинским педокомплексом, но и современная почва наложена на брянскую палеопочву, образуя единый позднеплейстоценово-голоценовый педокомплекс.

В карьерах Среднерусской возвышенности: Михайловском, Александровском, Новопоселковском в Курской обл.; Лебединском, Стойленском в Белгородской обл., Стрелецком, Девицком в Воронежской обл. можно наблюдать разнообразные древние поверхности и позднеплейстоценовые погребенные формы рельефа, в том числе фрагменты крупных ложбинно-балочных систем.

Для плакоров возвышенностей характерны неполные педоседиментационные архивы (тип архива 1С), так как поверхности междуречий неоднократно, в различной степени подвергались разрушению денудационными процессами. На междуречьях: высоких водораздельных плато I порядка и инсолируемых склонах межбалочных плакоров позднеплейстоценовые лессово-почвенные толщи могут отсутствовать или представлены не стратифицированными плейстоценовыми лессами, лессовидными, делювиально-солифлюкционными суглинками или породами более древнего возраста (Лебединский, Танеевский карьеры) (тип архива 1С₁ – плакорный с полностью утраченной записью). На водораздельных склонах и межбалочных водоразделах II порядка, где залегают поздневалдайский и позднемосковский лессы, сохраняются фрагменты межледниковых или

интерстадиальных почв (Александровский, Новопоселковский карьеры) (тип архива 1С₂ – плакорный с частично утраченной записью).

Позднеплейстоценовые педоседиментационные архивы на Среднерусской возвышенности представлены в палеодепрессиях и прислонениях – на склонах палеоврезов, вскрытых позднеледниковой или голоценовой эрозией. В сохранившихся фрагментах погребенной эрозионной сети можно наблюдать наиболее полный педоседиментационный архив. Детальная запись архива палеодепрессий создавалась в результате дополнительного периодического поступления седиментов за счет склоновых, аллювиальных и других процессов со всего водосбора и сохранилась благодаря быстрому захоронению. Каждый период стабилизации поверхности сопровождался развитием почв, профили которых формировались на вновь отложенной материнской породе, чистой (или почти чистой) от предыдущих почвенных записей. Палеоландшафтная и климатическая записи наиболее полны, а их расшифровка их более достоверна и проста. В заполнениях московско-микулинских палеоврезов детальный архив (тип 2В) включает несколько позднеплейстоценовых палеопочв, разделенных седиментами разного генезиса, часто преобразованными криогенными нарушениями. Палеопочвы, чередуясь с субаэральными породами: лессами, солифлюкционными, делювиальными суглинками, образуют лессово-почвенные циклиты, отражая тем самым влияние климатических ритмов. Наиболее полно сохраняются педоседиментационные архивы в днищах и на склонах верхнего звена погребенной эрозионной сети (тип архива 2В₁), в меньшей степени в низовьях палеобалок (тип архива 2В₂). Несомненно, для детальных стратиграфических построений, корреляций и эволюционных реконструкций почвенно-седиментационные архивы палеодепрессий являются более репрезентативными объектами, чем лессово-почвенные архивы плакоров. В поймах и низких террасах рек, озер, морских лагун создается своя почвенно-седиментационная последовательность (тип архива 3В). Архивы таких форм рельефа подробно фиксируют стадии развития ландшафтов и отражают детальную картину климатических событий времени образования формы. Полнота записи также обусловлена лучшей сохранностью вследствие молодости таких форм. Почвенно-седиментационные архивы первых и вторых надпойменных речных террас и склонов к ним, полузаполненных позднеледниковых оврагов и ложбин имеют иное строение, чем на архивы плакоров. Там создается развернутая запись, отражающую более мелкие, чем интерстадиал-стадиальные, 2000-1000-летние климатические ритмы. Подобный тип архивов характерен для низких надпойменных террас Дона (Костенки 14, 17, Борщево) и Днестра (Молодово, Кормань). Сходные архивы описаны нами в нескольких разрезах, где они представляют собой не только покровные толщи террас (тип архива 3В₁) (Марьино, Монастырщина, Дивногорье 1), оврага (Дивногорье 9), а также прибрежные (мысовые) части склонов – тип архива 3В₂ (Каменная балка 2, Костенки 11).

УДК 631.417

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА КАК ФОРМА СТАБИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА В БИО- И ЛИТОСФЕРЕ

Чуков С.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет, s_chukov@mail.ru

Гуминовые вещества (ГВ) были определены В.И.Вернадским как универсальный продукт трансформации растительных остатков не только в почве, но и в других природных сферах. Причем процессы трансформации этих остатков идут в направлении относительного накопления наиболее биотермодинамически устойчивых продуктов (по Д.С.Орлову), что само по себе обуславливает их стабильность. Процесс собственно гумификации приводит к формированию специфических крупных макромолекул, которые обладают уже существенно более высокой биотермодинамической структурной устойчивостью, что существенно

повышает возраст сохранения как в условиях активного биологического круговорота в почве (1–3 тыс. лет). А в условиях его замедления и заторможенности микробной трансформации в погребенных или палеопочвах возраст ГК может достигать 5–6 тыс. лет. и более.

В то же время в настоящее время активно развиваются концепции так называемой негуминовой стабилизации органического веществ почв, которые основаны, главным образом, на процессе окклюдирования органических остатков высокодисперсным минеральными частицами. Однако возраст этих окклюдированных негуминовых фракций органического вещества по данным разных исследователей как правило не превышает десятков, максимум сотен лет.

Из этого следует важный вывод, что стабилизация и устойчивость почвенных органических соединений углерода зависит в основном от присутствия в почве гуминовых веществ.

Поэтому при балансовых расчетах и особенно при моделировании процессов стока углерода в почвы необходимо учитывать не только количество, но и молекулярную структуру, и биотермодинамическую устойчивость (Чуков, 2001) гуминовых веществ почвы.

Безусловно, уровни стабилизации органического вещества почв, включая гуминовые вещества, зависят от биологической продуктивности и гидротермических условий в почвах разных природных зон. Однако перспектива климатических трендов последних лет может очень существенно повлиять на уровни стабилизации органических соединений углерода и минерализационной устойчивости почв таежной и арктической зоны России. Все это имеет важное значение для корректного прогноза процессов эмиссии или стока климатически активных газов в почвенном покрове.

К сожалению, до настоящего времени мало изученным остается другое направление эмиссии органических соединений углерода, направленных из почвы в литосферу. Поскольку биогенная гипотеза происхождения горючих полезных ископаемых (угля, нефти и газа) является одной из главных в современной геологии, то можно утверждать, что растительные остатки, из которых они образовались, в той или иной мере на начальной стадии прошли процесс гумификации. Неудивительно, что процесс пополнения нефтью и газом уже выкачанных пластов и скважин продолжается и в настоящее время. Процесс современного нефтегазообразования (Зеленская, 2013) шел в древние геологические эпохи идет непрерывно по сей день. Об этом свидетельствуют расконсервированные в последние годы полностью выкачанные 100 лет назад нефтяные скважины. В некоторых случаях они оказались на 100% заполнены свежей нефтью. В числе таких регионов называются Татарстан и Чеченская Республика. На ряде месторождений Западной Сибири также зафиксирован пульсирующий режим нефтедобычи в скважинах. Таким образом гуминовые вещества служат резервуаром стабилизации углерода почти во всех сферах Земли.

УДК 631.41

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ПУЛОВ И ФРАКЦИЙ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

Шамрикова Е.В., Ванчикова Е.В.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкара, shamrikovaelena@yandex.ru

Педосфера является важным резервуаром углерода, представленного органическими (C_{org}) и минеральными (неорганическими) (C_n) соединениями, находящимися в газообразной, жидкой и твердой фазах почвы.

Циклы обеих форм углерода тесно взаимосвязаны. С одной стороны, карбонаты замедляют круговорот органического углерода, стабилизируя его путем физической защиты (окклюзии) от деградации, с другой – органические кислоты, образующиеся в почвах, участвуют в растворении карбонатов. Круговорот органического и неорганического углерода реагирует на изменение климата и участвует в его регулировании. Вместе с тем внимание к оценке экосистемных услуг неорганической составляющей общего углерода почв существенно ниже

по сравнению с органической. Отчасти это связано с меньшим содержанием C_n (38% от общего количества элемента) в приповерхностных горизонтах (до 100 см) по сравнению с $C_{орг}$ (Zhao et al., 2020), хотя для верхних 200 см запасы обеих форм углерода сопоставимы (Zamanian et al., 2021). Вторая причина – ограниченность сведений о содержании карбонатов в почвах – как правило, материалы ограничиваются местным или региональным масштабом (Rasmussen, 2006).

В последнее время в массовых балансах углерода значительное внимание уделяют латеральному экспорту из почв в водные объекты мобильных фракций углерода – продуктов растворения и выветривания. Устойчивый рост щелочности вод крупных рек, в том числе рек Российской Арктики, связанный с климатическими сдвигами и сменой трендов снегонакопления, подчеркивает важность учета растворимых компонентов круговорота углерода (Drake et al., 2018).

Сказанное определяет необходимость проведения мониторинга пулов и фракций обеих форм элемента на всех уровнях, включая глобальный. Выбор способа измерения компонентов углеродного цикла во многом определяется техническими возможностями почвенных лабораторий. Неравномерная оснащённость коллективов актуализирует сопоставление результатов измерений, полученных альтернативными методами.

В докладе будут представлены преимущества и недостатки различных методов измерения $C_{орг}$ и C_n в почвах и водных вытяжках их них.

Исследование выполнено в рамках бюджетной темы НИР “Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов” (№ 122040600023-8).

Drake T.W., Raymond P.A., Spencer R.G.M. Terrestrial carbon inputs to inland waters: A current synthesis of estimates and uncertainty // *Limnology and Oceanography*. 2018. V. 3(3) P. 132-142.

Rasmussen C. Distribution of soil organic and inorganic carbon pools by biome and soil taxa in Arizona // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70(1). P. 256–265.

Zamanian K., Zhou J., Kuzyakov Y. Soil carbonates: The unaccounted, irrecoverable carbon source // *Geoderma*. 2021. V. 384. P. 114817.

Zhao X., Zhao C., Stahr K., Kuzyakov Y., Wei X. The effect of microorganisms on soil carbonate recrystallization and abiotic CO₂ uptake of soil // *Catena*, 2020. V. 192. P. 104592.

Оглавление

(A) I КОМИССИЯ. ФИЗИКА ПОЧВ. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ТЕХНОЛОГИИ	3
(B) II КОМИССИЯ. ХИМИЯ ПОЧВ	72
(C) ПОДКОМИССИЯ. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ.....	100
(D) ПОДКОМИССИЯ. ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ.....	148
(E) III КОМИССИЯ. БИОЛОГИЯ ПОЧВ.....	204
(F) IV КОМИССИЯ. АГРОХИМИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ.....	279
(G) V КОМИССИЯ. ГЕНЕЗИС, ГЕОГРАФИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ.....	348
(H) ПОДКОМИССИЯ ПО АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКЕ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ	397
(I) ПОДКОМИССИЯ ПО ЛЕСНОМУ ПОЧВОВЕДЕНИЮ	419
(J) ПОДКОМИССИЯ. ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА	459
(K) ПОДКОМИССИЯ. КАРТОГРАФИЯ ПОЧВ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ	497
(M) ПОДКОМИССИЯ. КРАСНАЯ КНИГА И ОСОБАЯ ОХРАНА ПОЧВ.....	527
(N) РАБОЧАЯ ГРУППА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЧЕРНОЗЕМОВ	537
(O) РАБОЧАЯ ГРУППА ПО МЕРЗЛОТНЫМ ПОЧВАМ	559
(P) РАБОЧАЯ ГРУППА ПО АРИДНЫМ ЗЕМЛЯМ.....	593
(Q) РАБОЧАЯ ГРУППА. ПОЧВЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ...	603
(R) РАБОЧАЯ ГРУППА. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОХРАНЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ	682
(S) КОМИССИЯ ПО ПАЛЕОПОЧВОВЕДЕНИЮ.....	688
(T) VI КОМИССИЯ. МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ	729
(U) ПОДКОМИССИЯ ПО МЕЛИОРАЦИИ ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ	736
(V) ПОДКОМИССИЯ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	744
(W) ПОДКОМИССИЯ ПО ОХРАНЕ ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ	782
(X) VII КОМИССИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ ПОЧВ	797
(Y) КОМИССИЯ ПО ПЕДОМЕТРИКЕ	819
(Z) КОМИССИЯ ПО ИСТОРИИ, ФИЛОСОФИИ, СОЦИОЛОГИИ В ПОЧВОВЕДЕНИИ.....	837
(Z) КОМИССИЯ ПО ОБРАЗОВАНИЮ В ПОЧВОВЕДЕНИИ	847
СИМПОЗИУМЫ.....	858