



ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПОЧВОВЕДЕНИЮ РАН
ОБЩЕСТВО ПОЧВОВЕДОВ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АН СССР В.А. КОВДЫ**

**ПОЧВА КАК КОМПОНЕНТ БИОСФЕРЫ:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

МАТЕРИАЛЫ



**25 – 28 НОЯБРЯ 2024 Г.
ПУЩИНО, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ**

УДК 504.7: 574.4
ББК 40.3
П651

Почва как компонент биосферы: актуальные проблемы в условиях изменений климата. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 120-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР В.А. Ковды / ИФХиБПП РАН. – Пушино: 2024. – 200 с.

Сборник «Почва как компонент биосферы: актуальные проблемы в условиях изменений климата» содержит материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, проходившей в г. Пушино 25-28 ноября 2024 г. и посвященной 120-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР В.А. Ковды. Показано влияние основополагающих идей В.А. Ковды на развитие как фундаментальных, так и прикладных исследований биосферной роли почв. Приведены результаты исследований, актуальных проблем и новейших тенденций в разных областях науки о почвах, продемонстрированы возможности современных методов почвенных исследований.

Сборник будет полезен широкому кругу ученых и практиков в области почвоведения, а также студентам, аспирантам и преподавателям высших учебных заведений.

Рекомендовано к изданию Ученым советом ИФХиБПП РАН

Ответственный редактор
чл.-корр. РАН А.О. Алексеев

Редакционная коллегия
Т.В. Алексеева, В.Н. Башкин, А.И. Журавлева,
Д.Л. Пинский, И.В. Припутина, С.Н. Удалыцов

ISBN 978-5-6043423-3-6

© Коллектив авторов, 2024
© Институт физико-химических и
биологических проблем
почвоведения РАН, 2024



Виктор Абрамович Ковда

29.12.1904 – 23.10.1991

«Генетические принципы почвоведения, заложенные В.В. Докучаевым, развились в учение о происхождении и эволюции почвенного покрова в биогеохимическом освещении. Почвенный покров Земли – компонент биосферы, играющий общепланетарную роль ... в поддержании круговорота химических элементов, жизненно необходимых для организмов»

В.А. Ковда, «Основы учения о почве»

РОЛЬ ПОЧВЫ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ ЭЛЕМЕНТОВ. УГЛЕРОД И КЛИМАТ

ОЦЕНКА ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ МЕТОДОМ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ РГАУ-МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Александров Н.А., Ярославцев А.М.

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
г. Москва, ул. Большая Академическая, 44 ст.4.; alexandrov_na@rgau-msha.ru

Влияние антропогенного воздействия на поток парниковых газов в экосистеме остаётся недостаточно изученным. В частности, открыт вопрос баланса углерода в агроэкосистеме. С одной стороны – углерод выносится с продукцией, с другой – идёт интенсивное разрушение органического углерода. По этой причине, агроэкосистемы имеют иное свойство буферности, чем природные экосистемы.

Как и в целом по миру, практика землепользования в России привела к общему снижению содержания углерода в почве. Некоторые авторы интерпретируют потерю органического углерода неспособностью экосистемы к поглощению и восстановлению его потерь. Часто освоение почв приводит к их деградации и углеродному дисбалансу в экосистеме и преобладанию процессов дегумификации, что приводит к повышенному потоку CO_2 в атмосферу [3].

Цель данного исследования: оценить потоки углерода типовых севооборотов агроэкосистем на примере опытных полей РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Исследование проводилось на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в период с 1 июня по 31 августа 2023 года.

Объектом исследования послужил один из опытных участков Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, площадью 1,5 га с посевами ярового ячменя. Участок, на котором проводилось исследование, не однороден по микрорельефу, т.к. встречаются локальные понижения, которые подтапливаются в периоды обильных дождей, общий перепад высот на участке составляет около 1,5 метров. Также встречаются участки, неоднородные по плотности верхнего почвенного горизонта, что сказывается на общей неоднородности почвенного покрова на данном поле [4].

Исследование проводилось методом турбулентных пульсаций (МТП). Стандартный метод, используемый для измерения потоков парниковых газов на уровне экосистем. Данный метод позволяет проводить измерения потоков газов, не нарушая экосистему, и ключевым преимуществом метода является то, что это единственный прямой метод непрерывного измерения потоков газовых примесей между биосферой и атмосферой. Данный метод всё активнее используется также для оценки пулов углерода не только в естественных экосистемах, но и в агроэкосистемах [1].

Совместно с МТП проводилась оценка биомассы проксимальными методами: измерение индекса листовой поверхности (LAI) [2] и запасов углерода на разных этапах вегетации культур. Для этого, на участке было зафиксировано 40 точек, на которых на каждой вегетационной фазе проводился отбор биомассы и измерение LAI.

Биомасса отбиралась рамкой 0,25x0,25 м по четырем сторонам света от точки, после чего разделяли корневую массу от надземной, проводили сушку и дальнейший пересчет. LAI измерялся с помощью Li-2200C [2].

По результатам исследования, на полевом участке было выделено несколько зон с различными запасами углерода, при этом на каждом таком участке, в зависимости от фенофазы отличались и скорости запасания углерода (рис. 1).

На рис. 1 представлен пример графика скорости накопления углерода в зоне с наибольшей плотностью биомассы и, как следствие, с наибольшими запасами углерода на поле. При этом, на уровне всего поля, скорость накопления углерода варьировалась от 0,5 до 2,5 кг С м^{-2} .

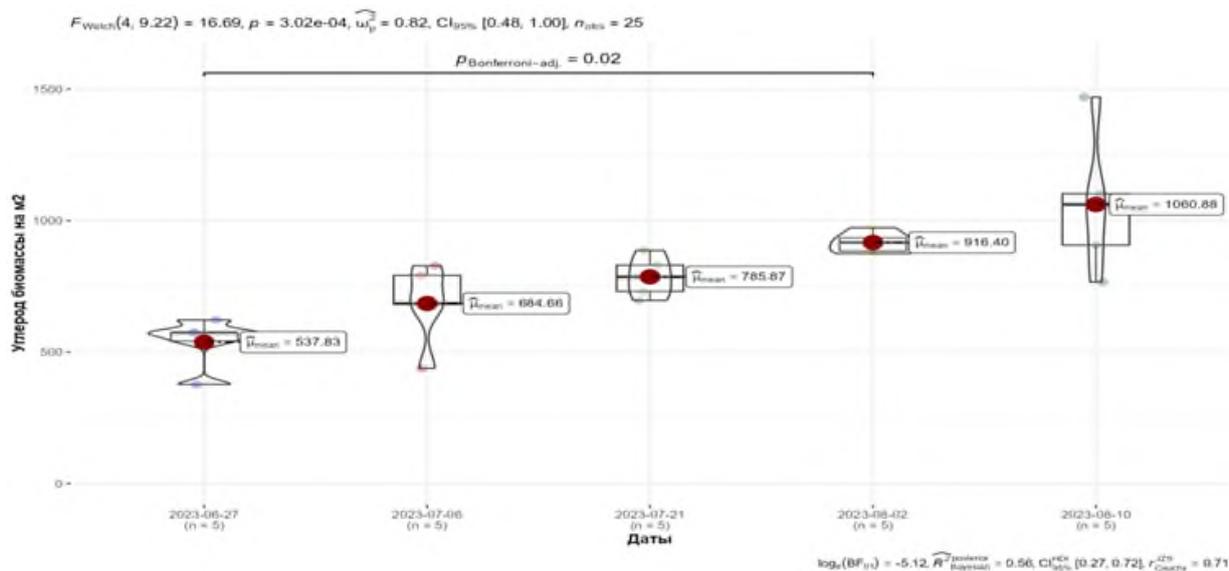


Рис. 1. График накопления углерода на части поля с наибольшими запасами.

Расчеты данных, полученные МТП, не выявили значимой разницы в скорости ассимиляции углерода между участками с высокой и низкой плотностью биомассы - среднее значения составило $4 \text{ мкмоль С м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

По результатам исследования можно предположить, что более низкие запасы биомассы и меньшая скорость ее накопления на отдельных участках поля были вызваны более высокими затратами на поддержание жизнедеятельности растений, а не меньшей скоростью фотосинтеза. Учитывая меньшие запасы биомассы, ячмень в пересчете на единицу биомассы фотосинтезировал даже активнее, чем ячмень на участке с высокой плотностью биомассы.

Литература

1. Бурба, Г. Г. Метод турбулентных пульсаций. Краткое практическое руководство / Г. Г. Бурба, [и др.] — Москва: Российская Академия Наук, 2016 — 223 с.
2. Голубева Е. И. и др. Индекс листовой поверхности: методы полевых инструментальных измерений и использование материалов дистанционного зондирования // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – 2020. – Т. 2. – №. 5. – С. 70-74.
3. Наилучшие доступные почво- и углерод-сберегающие технологии природопользования, экологического мониторинга и контроля / И. И. Васнев, Н. А. Александров, И. В. Андреева [и др.]. – Москва: Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2023. – 240 с. – ISBN 978-5-6049459-1-9.
4. Morev, D. Agroecological assessment of spatial variability of carbon content in the conditions of disturbed sod-podzolic soils / D. Morev, V. Potapova, A. Yaroslavtsev // 3rd International Conference on Research of Agricultural and Food Technologies (I-CRAFT-2023): Research of Agricultural and Food Technologies, Adana, Turkey, 04–06 октября 2023 года. Vol. 85. – Les Ulis: EDP Sciences - Web of Conferences, 2024. – P. 01063. – DOI 10.1051/bioconf/20248501063.

ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ И КАШТАНОВЫХ ПОЧВ

Алексеева М.Г., Семенов М.В.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Лаборатория почвенного углерода и микробной экологии, Москва, email: maria_alekseeva999@mail.ru

Почвенное органическое вещество (ПОВ) – крупнейший резервуар углерода, важный депозитарий питательных элементов и основа плодородия почв. Одними из ведущих факто-

ров, определяющих содержание ПОВ, являются тип сельскохозяйственного использования и применяемые агротехнические приемы. Поскольку влияние агроприемов и землепользования на запасы ОВ происходит замедленно, необходимы более чувствительные индикаторы, которыми могут служить микробиологические свойства почв. Целью исследования было изучение влияния сельскохозяйственного использования (традиционная обработка, no-till, естественное или искусственное орошение) на микробиологические свойства черноземов и каштановых почв.

Объектами исследования были выбраны четыре типа почв: агрочерноземы сегрегационные (Ростовская обл.), агрочерноземы глинисто-иллювиальные (Самарская обл.), а также агрокаштановые солонцеватые почвы и агроземы аккумулятивно-карбонатные солонцеватые (Волгоградская обл.). На данных объектах реализовывались разные типы сельскохозяйственной обработки почвы: пашня, no-till, пашня-богара, пашня-орошение, залежь. Почвенные образцы были отобраны с четырех глубин: 0-5, 5-10, 10-20 и 30-40 см. Размеры пулов органического вещества ($C_{\text{ПОМ}}$ и $C_{\text{МАОМ}}$) оценивали методом гранулометрического фракционирования. Микробиологические показатели, связанные с циклом углерода, определяли методами субстрат-индуцированного ($C_{\text{мик}}$) и базального дыхания (БД). Количество двухцепочечной ДНК (дцДНК) определяли с использованием флуоресцентным красителем PicoGreen. Численность копий генов архей, бактерий и грибов определяли методом количественной ПЦР в реальном времени. Таксономический состав и разнообразие почвенных микробных сообществ оценивали методом высокпроизводительного секвенирования ампликонов гена 16S рРНК.

Сельскохозяйственное использование агрочерноземов приводило к двукратному снижению содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$) и азота по сравнению с почвой целины. Низкое содержание $C_{\text{орг}}$ в почвах агроэкосистем происходило исключительно за счет снижения содержания углерода твердых частиц ($C_{\text{ПОМ}}$), в то время как почвы под целиной, традиционной обработкой и no-till не отличались по содержанию $C_{\text{МАОМ}}$. Переход от традиционной обработки к технологии no-till не приводил к повышению содержания $C_{\text{орг}}$, $C_{\text{ПОМ}}$ и $C_{\text{МАОМ}}$ по прошествии 7 (Самарская обл.) и 15 лет (Ростовская обл.). Также агрочерноземы в условиях традиционной обработки и no-till не различались по величинам $C_{\text{мик}}$, БД, количества дцДНК, а также численности копий генов архей, бактерий и грибов для всех рассматриваемых слоев. Хотя таксономический состав этих почв также незначительно различался на уровне филумов, при переходе от традиционной обработки к технологии no-till происходило снижение доли многих классов прокариот, включая актинобактерии Rubrobacteria и Anaerolineae, ацидобактерии Blastocatellia, Acidobacteria Gp3 и Gp22, веррукомикробии Terrimicrobia и архей Thaumarchaeota, но повышалась доля классов Spartobacteria Acidobacteria Gp4 и Gp17.

Сельскохозяйственное использование схожим образом сказывалось на микробиологических показателях агрокаштановых почв и агроземов, в результате которого происходило двукратное снижение показателей $C_{\text{орг}}$, $C_{\text{мик}}$ и дцДНК. Применение искусственного орошения агроземов приводило к снижению $C_{\text{мик}}$ и численности копий генов архей в верхнем почвенном слое (0-5 см) на 20%. Основное влияние орошения на таксономический состав сказывалось на глубине 30-40 см, на котором происходило снижение доли филумов Proteobacteria и Thaumarchaeota и увеличение классов Clostridia, Chlamydia и Nitrospira.

Таким образом, микробиологические свойства могут служить чувствительными показателями для ранней индикации изменений состояния почв в условиях разного сельскохозяйственного использования земель.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования, тема № FGUR-2022-0018 "Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем".

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ДЕФИЦИТ ЙОДА В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОБЛАСТЕЙ ЦФО РФ

Березкин В.Ю., Баранчуков В.С., Головин М.Л., Данилова В.Н.,
Колмыкова Л.И., Костин А.С.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН),
119991, Москва, ул. Косыгина, 19, victor76@list.ru

Йод и селен относятся к группе элементов (Fe, Ca, Mg, I, Se, Zn, Cu), дефицит которых широко распространён среди жителей планеты [1, 8]. Недостаточное поступление йода в орга-

низм человека провоцирует у людей и сельскохозяйственных животных такие заболевания, как гипотиреоз, узловые новообразования щитовидной железы, необратимые нарушения мозга у плода и новорожденного, приводит к умственной и физической утомляемости, снижению иммунитета, развитию эндемичного зоба [3]. Дефицит селена характерный для многих стран, включая значительную часть территории России, способствует снижению эффективной защиты организма от сердечнососудистых, раковых и инфекционных заболеваний [2]. Сочетанный дефицит I и Se является причиной миксодермального идиотизма и способствует развитию раков щитовидной железы.

В некоторых регионах центрального федерального округа России, заболевания щитовидной железы у населения, помимо природных факторов (дефицит йода и селена) могли усугубляться от последствий поступления в пищевые цепи короткоживущих радиоактивных изотопов йода во время аварии на Чернобыльской АЭС (1986) [4, 5].

Целью работы являлась оценка содержания йода и селена в разных генетических типах пастбищных почв Калужской, Брянской, Орловской и Тульской областей, наиболее пострадавших регионов РФ от последствий аварии на ЧАЭС_86, и его зависимость от содержания органического углерода в почвах. Предполагалось, что органическое вещество почв, выступающее естественным сорбентом элементов, поступающих с атмосферными выпадениями, играет ключевую роль в распределении йода в нижних звеньях пищевой цепи в экосистемах Центрального федерального округа.

Полевые исследования проводились в летний период в Брянской (2021 г.), Орловской (2022-2023 г.), Калужской (2023 г.) и Тульской (2024 г.) областях вблизи 47 населённых пунктов, в которых выбирались тестовые площадки на пастбищах с учётом рельефа. В ходе обследования тестовых площадок осуществлялся отбор образцов почв ручным буром, с последующим разделением керна в интервале глубин 0–5; 5–10 и 10–20 см.

Содержание I, Se и Сорг в почвах определялось в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН (Москва): йод - ускоренным кинетическим роданидно-нитритным методом [6], селен - спектрофлуориметрическим, органический углерод - методом мокрого сжигания по Тюрину. Статистическую обработку результатов проводили в программных комплексах Microsoft Excel и TIBCO STATISTICA 13.3. Всего было обследовано 84 индивидуальных точки отбора проб, характеризующих различные типы пастбищных почв (пойменные, дерново-подзолистые, серые, чернозёмы и др.). Полученные результаты заносились в базу данных, интегрированную в геоинформационную среду «Брянск-йод», созданную на базе ArcGIS 10.8.1.

Установлено, что содержание йода в верхнем слое почвы (0-5 см) исследуемой территории варьирует в широких пределах (аллювиально-луговые 0,65-1,79 мг/кг, n=9, дерново-подзолистые 0,1-0,46 мг/кг, n = 14, серые 0,83-2,0 мг/кг, n = 25, тёмно-серые 1,32-2,91 мг/кг, n=7, чернозёмы глинисто-иллювиальные 2,11-3,3 мг/кг, n = 13, чернозёмы элювиальные глинисто-иллювиальные 1,9-3,06 мг/кг, n=12). Для более глубоких слоёв (5-10 см, 10-20 см) наблюдалась схожая картина, с меньшим размахом варьирования. При этом, выявлено убывание медианных значений концентрации йода с глубиной для чернозёмов глинисто-иллювиальных (подтип элювиальные), и серых почв, а для аллювиально-луговых и дерново-подзолистых его содержание в большинстве случаев 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) > аллювиально-луговые (0,23 мг/кг) > тёмно-серые и серые почвы (0,19 мг/кг) > чернозёмы (0,11 мг/кг). Схожая, но менее выраженная картина наблюдалась для более глубоких слоёв верхнего горизонта (5-10 см, 10-20 см). При этом в чернозёмах иллювиально-глинистых подтип элювиальные наблюдалось более низкое значение йода и более высокое селена, чем в целом по данному типу почв (в слое 0-5 см: I= 2,4/2,6 мг/кг; Se= 0,08/0,13 мг/кг).

Содержание органического углерода показало убывание медианных значений в том же ряду: чернозёмы (5,4 %) - серые и тёмно-серые (3,5 %) - аллювиально-луговые (3,16 %) - дерново-подзолистые (2,76 %), что подтверждает зависимость содержания йода в верхнем горизонте пастбищных почв от содержания Сорг.

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, поддержанному НИР № 202726-0-000 «Радиационная безопасность пищевых продуктов растительного и животного происхождения».

Литература

1. Авцын А. П. [и др.]. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1993. – 496 с.
2. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Надежкин С.М. Перспективы обогащения сельскохозяйственных растений йодом и селеном (обзор), Микроэлементы в медицине, 2015. 16(3): 12-19
3. Кашин, В. К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода / В. К. Кашин. – Ленинград: Наука. – 1987. – 261 с.
4. Коробова, Е. М. Йод в ландшафтах Нечерноземного центра Русской равнины / Е. М. Коробова, Э. Б. Тюрюканова // Геохимия. – 1984. – № 9. – С. 1378–1388.
5. Коробова, Е. М. Природные биогеохимические провинции с низким содержанием йода как районы дополнительного экологического риска в зонах воздействия аварии на Чернобыльской АЭС / Е. М. Коробова, А. И. Кувылин // Биогеохимическая индикация аномалий: материалы Пятых биогеохим. чтений, Москва, 8 июня 2004 г. – М.: Наука, 2004. – С. 156–167.
6. Проскурякова, Г. Ф. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах / Г. Ф. Проскурякова, О. Н. Никитина // Агрохимия. – 1976. – № 7. – С. 140–143.
7. Шишов Л.Л. и др. Классификация и диагностика почв России. Изд-во: «Ойкумена», 2004. - 342 с.
8. White P.J., Broadley M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets: iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. New Phytol. 2009, 182:49–84.

СВЯЗЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПОЧВ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Квиткина А.К.¹, Смирнов Н.С.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пушино, Россия

²Печоро-Илычский биосферный заповедник, с.Якша, Россия; aqvia@mail.ru

За последние 25 лет площади лесов в мире сократились с 4128 млн га до 3999 млн га (ФАО, 2016). Травянистые растения лесного полога влияют на активность микробных сообществ подстилки и верхних горизонтов почвы, регулирующих процессы разложения органиче-

ского вещества и высвобождения микро- и макроэлементов. Мы предполагаем, что биологическое разнообразие растений влияет на содержание микроэлементов, и как следствие на активность микробной биомассы почв в естественных лесных экосистемах.

Цель данного исследования – установить связь видового разнообразия напочвенного покрова с биологическими и химическими свойствами почвы и подстилки старовозрастных елово-пихтовых лесов Печоро-Илычского заповедника.

Печоро-Илычский заповедник и национальный парк Югыд-ва вместе образуют массив «Девственные леса Коми», объект Всемирного природного и культурного наследия ЮНЕСКО. Еловые леса являются доминирующими и занимают 72% от покрытой лесом территории заповедника.

Исследования проводились в предгорной части заповедника, в нижнем течении малой реки Большая Порожня (приток р.Печоры), 62-63° с.ш., 58-59° в.д, 250-400 м над ур.м. Особенностью данной территории является то, что на относительно небольшом предгорном участке наблюдается высокое разнообразие как почв, так и напочвенного покрова. Ранее (Смирнов Н.С., 2013) на основании 548 геоботанических описаний выделено 4 секции темнохвойных лесов нижнего течения реки Большая Порожня: высокотравная, зеленомошная, сфагновая, крупнопоротниковая. На данных пробных площадях были отобраны образцы почвы и лесной подстилки из межкрупного пространства в бореально-высокотравном (3 обр.), мелкотравно-зеленомошном (3 обр.), чернично-зеленомошном (3 обр.), кустарничково-долгомошном (сфагновая секция) (4 обр.) и крупнопоротниковом (3 обр.) пихто-ельнике с кедром и березой (далее в тексте обозначены как «ельники»). Всего отобрано 16 образцов почвы и подстилки из межкрупного пространства.

Почву отделяли от подстилки, определяли влажность, рН, а также содержание углерода, азота и микроэлементов в сухом образце. Концентрации химических элементов измеряли рентгенфлуоресцентным методом в пересчете на MgO, P₂O₅, Al₂O₃, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, а также S. Во влажных образцах верхнего слоя почвы 0-5 см в лабораторных условиях определяли микробное дыхание (базальное дыхание почв) и микробную биомассу. Для этого влажную почву предварительно инкубировали при 22°C. Концентрацию углекислого газа измеряли на газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000». Скорость выделения углекислого газа почвенными микроорганизмами определяли по формуле:

$$R = (\%CO_2\text{почв.} - \%CO_2\text{возд.}) \times V \times 12 \times 60 / 1000 / 100 / 22,4 / m / t .$$

Измерения образцов проведены в трех аналитических повторностях. Расчеты проведены в Excel и STATISTICA, далее указаны средние значения и ошибки среднего. Геоботанических данных обработаны с помощью программы PC-ORD методом NMS.

Результаты. Всего на исследуемой территории было обнаружено 111 видов растений, относящихся к ярусам А, В, С, D (древесный ярус, второй ярус, травянистый ярус, моховой покров). Видовое разнообразие снижалось в ряду: бореально-высокотравное, мелкотравно-зеленомошное, кустарничково-долгомошное, чернично-зеленомошное, крупнопоротниковое сообщество. Среднее число видов на данных площадках (с учетом ярусов А, В, С, D): 54,3 – 34,0 – 30,3 – 27,0 – 24,7. Для травянистого яруса (С) число видов на данных площадках: 37,7 – 23,3 – 20,5 – 20,5 – 14,0. При этом бореальное высокотравье достоверно отличалось от всех высокой видовой насыщенностью, а крупнопоротниковое сообщество низкой, отличия между остальными сообществами на уровне тенденций.

Показатели биологической активности почв характеризовали высокую степень разнородности естественных участков. Базальное дыхание между сообществами не различалось и варьировало от 1,73 ± 0,7 мкг С/г почвы в час в кустарничково-долгомошном сообществе до 1,1 ± 0,5 мкг С/г почвы в час в крупнопоротниковом сообществе.

Микробная биомасса выявила тенденцию снижения в ряду: мелкотравно-зеленомошный (796 ± 181) ≥ бореально-высокотравный (779 ± 154) > кустарничково-долгомошный (сфагновая секция) (508 ± 129) > чернично-зеленомошный (489 ± 106) > крупнопоротниковый ельник (372 ± 92) мкг С/г сухой почвы. По мере уменьшения микробной биомассы можно выделить две группы сообществ – высокоактивные: мелкотравно-зеленомошный и бореально-высокотравный

ельник, и слабоактивные: кустарничково-долгомошный, чернично-зеленомошный, крупнопоропниковый ельник. Зависимость микробной биомассы от количества травянистых видов в сложных лесных сообществах имеет вид $y=16,6 * x + 217$ ($R^2=0,65$). При этом зависимости между содержанием органического и микробного углерода в верхнем горизонте почвы разных типов напочвенного покрова хвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника не обнаружено.

Методом NMS было показано, что микробная активность была приурочена к увеличению рН и накоплению Ca, Mg, S, P и снижению содержания Si, Ti как в лесной подстилке, так и в почве. Интересно, что в мелкотравно-зеленомошной подсекции с большой микробной биомассой наблюдалось высокое содержание Mn в почве. В бореально-высокотравной подсекции также с большой микробной биомассой наблюдалось высокое содержание Ca, Mg, S, P, Mn. Возможно, что высокая микробная активность связана с содержанием марганца в почве и вышеуказанными элементами.

Работа выполнена в рамках реализации госзадания № 122040500037-6 «Комплексное исследование влияния природных и антропогенных факторов на состояние почвенных предшественников, источников и стоков парниковых газов, включая моделирование структурно-функциональной организации биогенных циклов и факторов разномасштабной динамики наземных экосистем в условиях изменяющейся среды».

РОЛЬ ЛИГНИНОВЫХ СТРУКТУР В СЕКВЕСТРАЦИИ И ДЕПОНИРОВАНИИ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

Ковалев И.В., Ковалева Н.О.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва,
Воробьевы горы, МГУ, д.1, стр. 12, факультет почвоведения; kovalevmsu@mail.ru

Лигнин, обладая высокой биохимической стабильностью, а также склонностью к конденсации за счет образования устойчивых C–C связей, что выделяет его из всех биополимеров, должен по праву занять свое место и в качестве надежного биомаркера при реконструкции палеосреды, в описании процессов секвестрации и депонирования углерода в почве и в прогнозных моделях планетарного круговорота углерода.

Объекты исследования включали в себя ряд светло-серых почв геохимической катены и осушенных гидроморфных почв этого ряда в Коломенском ополье Московской области и серых почв Трубчевского ополья в Брянской области.

Основные методы - апробированная методика мягкого щелочного окисления органического вещества оксидом меди в азотной среде с последующим использованием хроматографии тонкого слоя является наиболее перспективной для анализа содержания и состава лигнина в объектах наземных экосистем: не только в тканях растений, но и в дневных и погребенных почвах, включая минеральные малогумусные горизонты, в конкреционных новообразованиях, гранулометрических фракциях почв на поверхности и внутри агрегатов, препаратах гуминовых кислот [1]. Щелочное окисление исследуемых образцов оксидом меди дало 11 фенолов, которые сгруппированы по их химической природе в 4 структурных семейства: ванилиновые (V), сиригиловые или сиреневые (S), п-кумаровые (C) и феруловые фенолы (F). Сумма продуктов окисления (VSC) отражает общее содержание лигнина в образце.

Результаты исследования позволили по-новому взглянуть на вопросы секвестирования и депонирования углерода в почве. Установлено, что в условиях мезо- и микрорельефа стабилизация и консервация лигниновых полимеров в виде высококонденсированных многоядерных ароматических структур всегда приурочена к аккумулятивным позициям ландшафта. С усилением степени оглеения почв наблюдается значимое отличие по значениям суммы лигниновых фенолов (VSC) в них.

При распашке и осушении можно ожидать интенсивную минерализацию органического вещества и, следовательно, лигнина. Осушение вызывает глубокую трансформацию не только свойств и режимов агросерых гидроморфных почв [1], но и усиливает микробиологическую деятельность в

них, которая прямо регистрируется по увеличению длины грибного мицелия и общей биомассы микроорганизмов и косвенно – по увеличению относительного количества диэфиров микробного происхождения, с 6 до 11 % от площади спектра. Под влиянием осушения в пахотных горизонтах почв увеличивается общее содержание аминокислот. Усиленная микробиологическая деятельность вызывает и деструкцию лигнина. Сумма продуктов окисления лигнина падает с $12,0 \text{ мг г}^{-1} \text{ Сорг.}$ до $9,6 \text{ мг г}^{-1} \text{ Сорг.}$ Возрастает (в среднем) степень окисленности (отношение кислот к альдегидам $(ac/al)_v$) и степень измененности боковых цепочек лигнина (VSC) по отношению к исходным растительным тканям: с 5,8 до 8,6. Для разделения тяжело- и легко-разрушаемых растительных остатков используют отношение лигнина к азоту (VSC:N). Широкое отношение VSC:N характерно для ароматического структурного углерода, а узкое - для метаболического. Действительно, в неосушенных глееватых почвах оно составляет 66, в осушенных почвах – 50.

Агрегатный уровень организации почвенной массы демонстрирует более высокую степень окисленности на поверхности агрегата, нежели внутри агрегата, что выражается в более высоких величинах отношения (кислоты/альдегиды) в ванилиновых и сиригиловых единицах $((ac/al)_v, (ac/al)_s)$. На поверхности агрегата в окислительных условиях наблюдается меньшее количество продуктов окисления лигнина и более высокая степень его окисленности, нежели внутри агрегата, где складывается восстановительная обстановка и преобладают факультативные анаэробные микроорганизмы. Деструкция лигнина происходит только в аэробной среде и ускоряется благодаря высокому содержанию кислорода. В восстановительных условиях лигнин слабо разрушается и происходит его относительное накопление.

На уровне элементарных почвенных частиц установлено, что с уменьшением размера фракции количество лигнина в них значительно снижается – в 10 раз по сравнению с крупными фракциями. Большая часть продуктов окисления лигниновых фенолов (до 50 %) ассоциируется во фракции крупного песка. Однако именно к наиболее мелким илистым и пылеватым фракциям приурочены величины максимальной степени окисленности и степени трансформации боковых цепочек биополимера (Т, %). Таким образом, в мелких фракциях наблюдается максимальная в исследованном ряду фракционирования по гранулометрическому составу деструкция лигниновых фенолов. Молекулы биополимера инкрустируются глинистыми минералами и становятся недоступными для микроорганизмов. Вероятно, этим и обусловлена высокая корреляция содержания лигнина (VSC) и величиной удельной поверхности почв ($r = 0,97$). Именно в мелких фракциях наблюдается и наибольшее содержание биофильных элементов: углерода, азота, серы, что обусловлено микробным ресинтезом. В крупных фракциях накапливаются слаборазложившиеся остатки, обогащенные лигнином, тогда как в тонких фракциях почв преобладают продукты микробной жизнедеятельности. Максимальное содержание серы в мелких фракциях тому подтверждение. Концентрация полисахаридов в илистой фракции повышается по сравнению с фракциями пыли и мелкого песка, хотя полисахариды химически менее стабильны, чем лигнин.

С помощью количественного анализа лигниновых фенолов и ^{13}C -ЯМР-спектроскопии также доказывается, что лигнин высших растений принимает участие в формировании специфических соединений гумуса почв, входя структурными фрагментами в алифатическую часть молекулы (пики при 56 ppm), так и в ароматическую часть молекул гуминовых кислот. Поступающий с растительным опадом в почву пул лигнина состоит из блока ежегодно обновляемого «лабильного лигнина» (47 кг/га), которого на первый взгляд мало, но даже при малом содержании такие многоядерные системы служат источником более сложных конденсированных структур и формируют пул более устойчивого «инертного лигнина» (160 кг/га), входящего в молекулы гуминовых кислот. Ярким примером депонирования углерода, в частности лигниновых фенолов, являются погребенные почвы, почвы вторых гумусовых горизонтов. При невысоких величинах содержания лигнина в погребенных горизонтах (VSC – $0,72\text{-}0,79 \text{ мг/г}$ углерода) наблюдается максимальная в исследуемом ряду почв степень окисленности и степень трансформации биополимера (Т, % – $50,4\text{-}53,3$) [1] и возникновение новых типов гуминовых кислот с развитой ароматической частью в составе гумуса погребенных почв – предкерогенная стадия образования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23–24–00155.

Литература

1. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Биохимия лигнина в почвах периодического переувлажнения (на примере агросерых почв ополей Русской равнины) // Почвоведение. 2008. № 10. С. 1205–1216.

ПОЧВЫ И КУЛЬТУРНЫЕ СЛОИ ГЕОАРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБОРОНИТЕЛЬНОЙ ЧЕРТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ДИНАМИКИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Ковалева Н.О., Сидорова И.Я., Ковалев И.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Воробьевы горы, МГУ, д.1, стр. 12, факультет почвоведения; natalia_kovaleva@mail.ru

Эволюция почв и ландшафтов на границе лесостепи и степи до сих пор остается одним из дискуссионных разделов почвоведения. Регион Центральной лесостепи – это территория, которая осваивалась и заселялась в позднем средневековье. От набегов кочевых племен на ее южном фронтире были возведены оборонительные сооружения в виде валов, рвов, городков, засек длиной более 800 км. Погребенные под ними почвы являются архивом информации об эволюции ландшафтов и хранилищем углерода – свидетеля состава атмосферы различных временных срезов исторического времени.

Объекты исследования расположены в Сосновском и Мичуринском районах Тамбовской области и приурочены к Козловскому и Урляпову валам Белгородской оборонительной черты. На Козловском валу в Сосновском районе Тамбовской области заложена хронокатена почв, состоящая из 6 разрезов: разрез № 1 (на вершине вала), вскрывающий стратозёмом 400-летнего возраста, разрезы № 2 и № 4 (в основании рвов), представленные лугово-черноземной почвой (чернозём гидрометаморфизованный), разрезы № 5 и № 6 заложены в пределах городка и состоят из культурных слоев стратозёма на погребенном черноземе выщелоченном. В 15 метрах от вала на пашне заложен разрез агрочернозема выщелоченного. Вторая хронокатена заложена в Мичуринском районе Тамбовской области на Урляповом валу. Хроноряд почв состоит из 4 разрезов: на валу разрез № 1 – стратозём, возраст также около 400 лет, разрез № 2 – ров (лугово-черноземная почва), разрез № 3 – стратозём, а фоновая почва в 25 метрах от раскопа, - черноземно-луговая.

Методы исследования включали определение углерода на CNS-анализаторе, определение изотопного состава органического углерода на изотопном анализаторе, радиоуглеродное датирование погребенных слоев и почвенных горизонтов, определение группового состава фосфора аскорбиновым методом и кислотности почвенного раствора - потенциометрически.

Наибольшее содержание органического углерода в почвах Урляпова вала отмечается в верхнем горизонте на самом валу (около 4 %), примерно такое же количество углерода - и в погребенном черноземе на глубине 100-120 см. Повышенное содержание углерода характерно и для культурных слоев (2 %). В фоновом разрезе данный показатель в 2 раза меньше (1,82 %), чем на валу, как результат дегумификации вследствие распашки. Обогащенность гумуса азотом низкая и очень низкая (C/N - 12-15). Наибольшее количество углерода в почвах Козловского вала, как и на Урляповом валу, наблюдается непосредственно на вершине вала. Так, на глубине 20-40 см содержание углерода достигает 5 %, и такой же максимум фиксируется в погребенной части профиля в горизонте [A]. В верхних горизонтах фоновой почвы данный показатель достигает 3 % и постепенно снижается вниз по профилю. Содержание углерода в гидрометаморфизованном черноземе рва варьирует от 3,43 до 1,85 %.

При анализе группового состава фосфора, а именно общего и органического, в почвах Козловского вала были обнаружены слои с более высокими значениями его содержания — это культурные слои, слои подсыпки и погребенный чернозём. Наименьшее количество органического фосфора отмечается на вершине вала на глубине 20-40 см. Содержание всех форм фосфора в днище рва имеет регрессивно-аккумулятивный характер. Количество органического фосфора во всех горизонтах разреза № 4 более 60%. В почвах Урляпова вала содержание органического

фосфора максимально в верхнем горизонте, а также диагностируется слой подсыпки, для которого содержание всех форм фосфора минимально.

Результаты анализа изотопного состава углерода обнаруживают, что и дневные, и погребенные почвы сформированы под пологом С-3 растительности, так как диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ находится в пределах от -25,74 до -23,97 ‰ и соответствует древесной растительности умеренного пояса. При этом поверхностные горизонты демонстрируют наиболее легкие значения изотопных отношений: от -26,13 до -25,32‰. В погребенных под обоими валами черноземах величины изотопных отношений утяжеляются до величин -23,97 ‰, что свидетельствует об эпизодах теплого сухого климата, по-видимому, сопровождающегося понижением уровня грунтовых вод. Радиоуглеродный возраст погребенного под валами чернозема – 2510 ± 50 лет, а нижняя часть АВ горизонта на Тамбовской равнине сформировалась в среднем голоцене 6760 ± 90 лет назад. Судя по наиболее тяжелым величинам изотопных отношений, это была эпоха степного почвообразования по типу чернозема обыкновенного с пониженным уровнем грунтовой воды в пойме Полного Воронежа. Усиление увлажненности климата регистрируется по облегчению значений изотопных отношений в последние 1500 лет: $\delta^{13}\text{C}$ варьирует от -25,74 ‰, до -25,34 ‰. И наиболее низкие значения характерны для почв на валах, сформированных в малый ледниковый период – до -26,30 ‰. Легкие значения изотопного отношения закономерно характерны также для почвы в днище рва – лугово-черноземной: от -25,78 до -26,13 ‰. О лесном генезисе горизонта АО свидетельствует величина -26,30 ‰ в верхнем горизонте стратозема под широколиственным лесом на вершине Урляпова вала. И примерно одинаковые величины $\delta^{13}\text{C}$ типичны для пахотных агрочерноземов: -25,60 – -25,56 ‰, что соответствует данным, полученным для агрочернозема на пашне в Тамбовском районе – -25,60 ‰. Коэффициент корреляции для изотопных кривых с величинами магнитной восприимчивости – 0,94.

Таким образом, эволюция почв в исследуемом регионе подчинялась глобальным трендам изменения климата, но оставалась в рамках черноземного типа почвообразования: чернозем обыкновенный – агрочернозем выщелоченный (чернозем оподзоленный). Усиление процессов оподзоливания в дневных почвах на валах по сравнению с погребенными вариантами чернозема, свидетельствует об увеличении количества осадков, в последние 400 лет, то есть в малый ледниковый период, по сравнению с эпохой средневековья. В позднем голоцене зафиксирована неоднократная смена безлесных ландшафтов на лесные.

Работа выполнялась за счет гранта РФ № 24-68-00011, <https://rscf.ru/project/24-68-00011/>.

БИОГЕОХИМИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ (ПАМЯТИ В.А. КОВДЫ)

Красильников П.В.

Факультет почвоведения Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,
г. Москва, Ленинские горы, д.1., строение 12, krasilnikov@soil.msu.ru

Виктор Абрамович Ковда олицетворяет эпоху в развитии советского почвоведения в целом и развития почвенной науки в Московском университете, в частности. Став заведующим кафедрой почвоведения, он читал основной курс почвоведения и курс «Биогеохимия почвенных процессов» (1953-1958 и 1965-1988). Награжден орденами Октябрьской Революции, «Знак Почета», Дружбы народов, двумя орденами Трудового Красного Знамени, медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне». Ему присуждены две Государственные премии (1951, 1987), золотые медали им. В.В. Докучаева и им. В.Р. Вильямса, Международная научная премия и медаль ЮНЕСКО. В.А. Ковда опубликовал более 500 работ, в том числе более 20 монографий, среди которых: «Солончаки и солонцы» (1937), «Происхождение и режим засоленных почв» (в 2-х кн., 1946, 1947), «Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса» (в 2-х кн., 1973), «Аридизация суши и борьба с засухой» (1977), «Биогеохимия почвенного покрова» (1985).

В.А. Ковду характеризовало разнообразие научных интересов, которые включали и эволюцию почв, и вопросы деградации и опустынивания земель, и многие другие аспекты генетического почвоведения. На кафедре общего почвоведения им были заложены основы школы биогеохимии почвенного покрова, которые сохраняются до настоящего времени. Классическая работа Виктора Абрамовича «Биогеохимия почвенного покрова» явилась теоретическим фундаментом последующих исследований таких учёных как А.И. Перельмана, Н.С. Касимова и М.И. Макарова.

В.А. Ковда выдвинул теорию биогеохимического развития почв водно-аккумулятивных равнин, разработал оригинальное учение о процессах соленакопления в почвах, обобщил отечественный и зарубежный опыт мелиорации и использования засоленных почв, рекомендовал приемы использования минеральных вод для орошения, сформулировал положения об оптимальном водно-солевом режиме орошаемых почв. Он предложил генетическую классификацию засоленных почв (1946) и классификацию по степени их засоленности и химизму (1960), организовал и возглавил работы по составлению Международного руководства по мелиорации засоленных почв аридной зоны (1958 -1965). В последние годы жизни обобщил сведения о биогеохимии ряда химических элементов, что позволило произвести районирование территории СССР по почвенно-биогеохимическим принципам.

Работы В.А. Ковды были пионерскими и в области изучения влияния глобальных изменений климата на почвы. Опираясь на исторические данные, Ковда предсказал изменение почвенных свойств и урожайности разных культур под воздействием возрастающих температур и концентраций углекислого газа, что является одним из наиболее востребованных направлений исследований сегодня.

ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И БАЛАНС УГЛЕРОДА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РФ

Кудеяров В.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
г. Пущино, Московская область; vnikolaevich2001@mail.ru

Современное потепление климата – состоявшаяся реальность. По данным [1] средняя глобальная температура за последние 10 лет, с 2014 по 2023 год, была на 1.20 ± 0.12 °C выше среднего показателя за 1850-1900 годы. При этом также отмечалось глобальное сокращение продолжительности снегового покрова. По данным Росгидромета [2] приповерхностная температура воздуха за 1976 – 2023 гг. в целом на территории РФ повышалась с коэффициентом тренда (°C/10 лет) для годовой температуры 0.5 и для сезонов (зима, весна, лето, осень) соответственно 0.42; 0.64; 0.4 и 0.52. Что касается атмосферных осадков, то средние годовые и сезонные аномалии, осредненные по территории России, показывают тренд увеличения увлажненности (% от нормы/10 лет) в целом для РФ – круглогодочная на 1.9% и для сезонов (зима, весна, лето, осень) соответственно 2.6; 5.2; 2.64; 5.2. Климатические изменения в мировом масштабе связывают с нарастанием парникового эффекта и, в первую очередь, с повышением концентрации CO₂ атмосферы. Так рост концентрации CO₂ в атмосфере в 2022 году превысил показатель 1960 года на 100 ppm или на 30% [3].

Кроме парникового эффекта проявилась так называемая фертилизация атмосферы за счет удобрительного действия CO₂, которая выразилась в росте мировой чистой первичной продукции фотосинтеза (NPP) наземных экосистем. О современном повышении мирового уровня NPP растительности свидетельствуют также мировые данные по усилению стока CO₂ в наземные экосистемы [3], показывающие увеличение стока углерода по сравнению с 1960 годом почти в 3 раза.

Мировое землепользование – один из главных факторов воздействия на состояние окружающей среды. В целом землепользование за последние 60 лет является источником CO₂ в диапазоне 1.4 – 1.6 Гт C/год, в то время как индустриальные источники показали рост эмиссии CO₂

за этот период с 2.5 до 10 Гт С/год. Но именно на землепользование возлагаются надежды по секвестрации углерода атмосферы.

Парижская мировая Конференция ООН по изменению климата [4] выдвинула программу по улучшению сельскохозяйственного использования земель и подчеркнула, что почвы агроэкосистем имеют большой потенциал секвестрации углерода. Отсюда возникла инициатива «4 промиле», направленная на увеличение глобальных запасов Сорг на глубине 0-40 см ежегодно на 4 части на тысячу, чтобы компенсировать увеличение антропогенных выбросов CO₂.

В этой связи весьма актуальны исследования баланса углерода и оценка потенциала секвестрации углерода (ПСУ) в земледелии РФ. При этом важно также оценить воздействие изменения климата на составляющие баланса углерода и продуктивность земледелия. Предпринята попытка проанализировать баланс углерода в земледелии РФ за 60-летний промежуток времени, который охватил период достоверного потепления климата на территории РФ [2].

Методика

В основу определения баланса положены статистические данные структуры посевных площадей РФ по категориям, сельскохозяйственным культурам, валовым сборам продуктов растениеводства, применению минеральных и органических удобрений [5-11]. Использовались справочные материалы по соотношению основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, пожнивным наземным остаткам и корневым системам [12, 13].

Баланс органического углерода устанавливался при сопоставлении приходной части баланса, состоящей из основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, наземного растительного опада и корневых систем (NPP_{общ}) и расходной части (RH_{общ}), включающей в себя утилизацию основной и побочной продукции плюс величина RH почв.

Посевная площадь страны за указанный период времени изменялась в значительной степени. Так в период 1960 – 1992 гг. площадь посевов колебалась в пределах 122 – 118 млн. га. С начала 90-ых годов посевные площади претерпели резкое сокращение и после 2015 года стабилизировались на уровне около 80 млн. га. Выведенные из посевной площади 40 млн. га превратились в залежные земли, которые в настоящее время заросли луговой и лесной растительностью с положительным углеродным балансом порядка 40 млн. т С/год [14]. В настоящем исследовании залежные земли не включены в расчеты баланса углерода.

Структура посевов за прошедший период также радикально изменилась. Если до 90-ых годов прошлого века зерновые вместе с кормовыми культурами (преимущественно многолетние и однолетние травы) составляли около 90% посевных площадей, то с начала 90-ых относительная площадь зерновых практически сохранилась на уровне около 60% от общих посевов, а доля кормовых резко сократилась и в настоящее время составляет около 13%. В период 1992 – 2022 гг. на третье место по посевам выдвинулся подсолнечник, его посевная площадь увеличилась более чем в 5 раз и достигла 12% от общей засеваемой пашни. Спад производства кормов связан со снижением поголовья крупного рогатого скота более чем в три раза и, соответственно, это привело к значительному уменьшению выхода органических удобрений [11].

Результаты

Определяющими сельскохозяйственными культурами в формировании NPP земледелия страны были зерновые культуры, которые как в прошлом, так и в настоящем в земледельческом производстве занимают господствующее положение (около 60% пашни).

Именно зерновые определяют общую продуктивность растениеводства и по урожаям этих культур можно судить о состоянии земледелия в целом. Несмотря на значительное сокращение (почти вдвое) посевных площадей в 2000-ых годах по сравнению с 1960 – 1990 гг. валовые сборы зерна увеличились к 2022 году более чем вдвое! В период (1960 – 1990 гг.) урожай зерновых был довольно низок, в пределах 1.0 – 1.9 т/га/год зерна. Но прослеживалась тенденция увеличения урожая зерна с 1.0 т/га в 1960 г до 1.9 т/га в 1990 г. Это при росте применения удобрений более чем в 8 раз по сравнению с 1960 г. В начале 90-ых годов произошло резкое падение применения удобрений, но урожай зерна хотя и снизился, но не кратно уменьшению применения удобрений. После 2010 года урожайность зерновых заметно увеличивалась и в 2022 году достигла в целом по РФ 3.4 т/га. Это был рекордный уровень за всю историю земледелия России.

Причем применение удобрений под зерновые хотя и увеличилось, но не достигло даже уровня 80-ых годов.

Одновременно с ростом урожайности зерновых культур несколько выросли урожаи подсолнечника и сахарной свеклы. Однако уровень урожайности картофеля и овощей, а также кормовых культур (многолетние и однолетние травы) остаются на довольно скромном уровне.

В приходной части углеродного баланса суммировался сток С-СО₂ из атмосферы, который состоял из NPP всех посевных культур, включающих товарную и побочную продукции, а также наземные растительные остатки и корневые системы. В эту часть вошел углерод внесенных органических удобрений. Потери углерода в атмосферу складывались из следующих статей: а) допускалось, что вся товарная продукция (100%) подвергается утилизации и конечным результатом является эмиссия СО₂ в атмосферу; б) допускалось, что весь углерод побочной продукции (солома злаковых культур, ботва корнеплодов, овощей и картофеля), наземные и корневые остатки при заделке в почву подвергаются гумификации с потерей С-СО₂ в среднем 85% от общего углерода биомассы; в) RH почвы в результате минерализация почвенного гумуса.

Результаты (рис.) показали, что в течение 60-летнего периода в земледелии России совершенно четко проявилась взаимосвязь между NPP и RH: при росте биопродуктивности агроэкосистем возрастает RH. Выявлена весьма устойчивая тенденция «отрицательной» секвестрации углерода, другими словами, отрицательный баланс углерода в почвах. Условия, благоприятствующие повышению биологической продуктивности растений, одновременно способствуют возрастанию потерь углерода через RH. Что очень важно, при этом расходуются и природные запасы почвенного гумуса. Устойчивый тренд роста дефицита углерода в почвах не позволяет прогнозировать сколько-нибудь значимую гипотезу реализации потенциала секвестрации углерода на пахотных почвах страны.

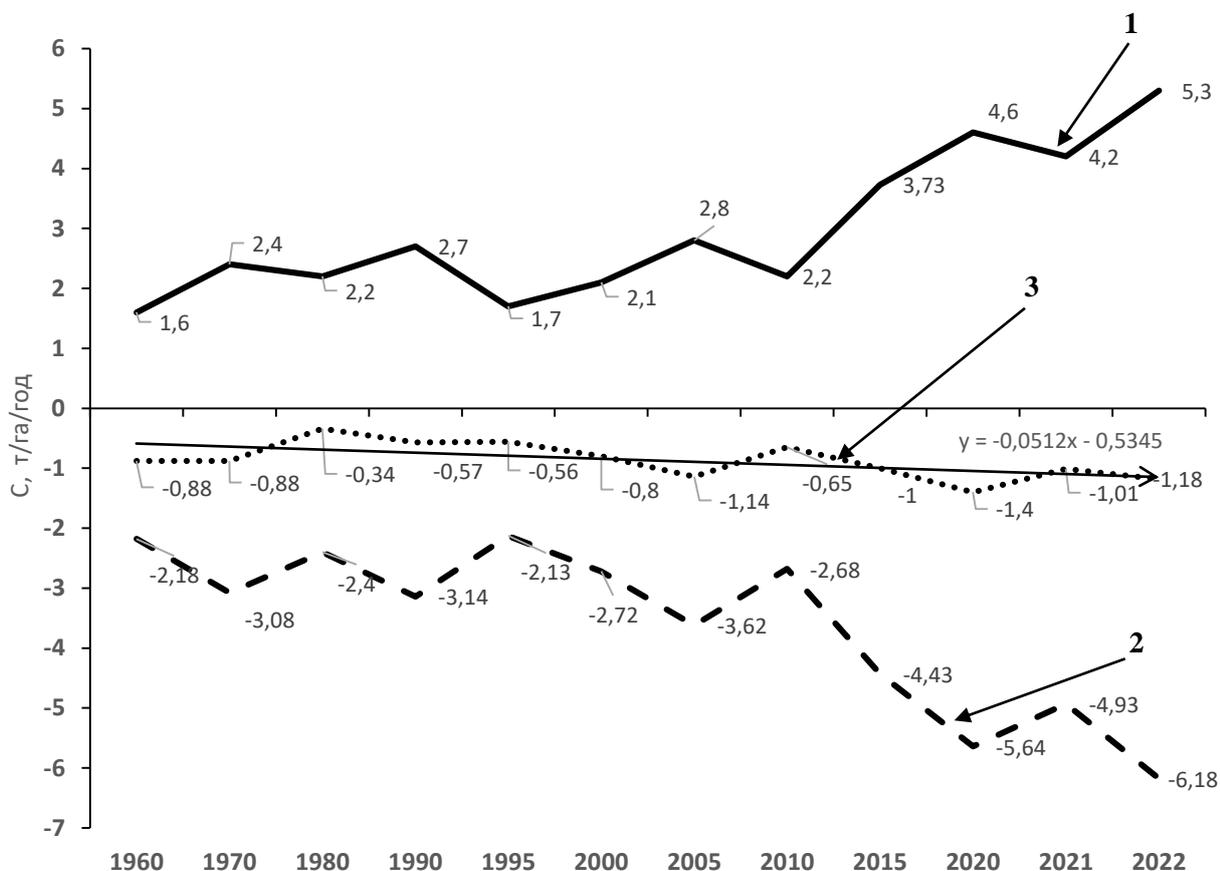


Рис. 1. Динамика составляющих баланса углерода в почвах посевных площадей 1960 – 2022 гг.: **1** – Сток С-СО₂ атмосферы в агроэкосистемы (общая NPP); **2** – RH (потери С_{орг} в атмосферу); **3** – баланс С. (Пояснения в тексте).

Литература

1. WMO. 2024.
2. Росгидромет. 2024
3. IPCC. CLIMATE CHANGE 2023. Synthesis Report. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. 2023. 186 p.
4. Парижская Конференция ООН. 2015.
5. Народное хозяйство РСФСР за 60 лет. Статистический ежегодник. М. Статистика. 1977. 366 с.
6. Народное хозяйство РСФСР за 70 лет. Статистический ежегодник. М. «Финансы и статистика». 1987. 471 с.
7. Химизация сельского хозяйства (Экономико-статистический сборник) М. 1977. Вып. 8. 183 с.
8. Росстат 1995. М. 1995.
9. Россия в цифрах 2011. М. 2011. 584 с 2016;
10. Россия в цифрах 2020. М. 2020. 553 с
11. Российский статистический ежегодник 2023. М. 2023. 704 с.
12. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233с
13. Исупов А.Н., Макаров В.И. Система применения удобрений в севообороте. Ижевск. 2012.
14. Kurganova I.N., Kudayarov V. N., Lopes De Gerenyu. Updated estimate of carbon balance on Russian territory // Tellus. 2010. 62B. P. 497–505

СООТНОШЕНИЕ МИНЕРАЛИЗУЕМЫХ ПУЛОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ПОГРЕБЕННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ

Кузнецова Т.В., Удальцов С.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, e-mail: kuznetsova@pbcras.ru

Углерод и азот являются главными компонентами органического вещества в почве – ключевого атрибута, обеспечивающего ее качество и плодородие. Биогеохимические циклы углерода и азота взаимосвязаны между собой через участие микроорганизмов в процессах синтеза и разложения органического вещества и сопряжены преимущественно с активным органическим веществом почвы (АОВП). Комплексным параметром для характеристики основных процессов биогеохимических циклов углерода и азота является величина минерализующей способности АОВП. Исследования по оценке размеров и скоростных параметров «минерализуемых» пулов углерода и азота АОВП необходимы при моделировании динамики С и N в почве, прогнозировании потенциальной продуктивности почвы и устойчивости экосистемы в целом в условиях изменяющихся факторов окружающей среды.

В данной работе определяли количественные и качественные показатели потенциально-минерализуемых пулов С и N и соотношение С:N этих пулов разновозрастных погребенных каштановых палеопочв и современных каштановых почв сухостепной зоны Нижнего Поволжья (на примере Ольховского р-на Волгоградской обл.).

Объектами исследования послужили палеопочвы археологических памятников (курганы могильника «Зензеватка») савроматского (V в. до н.э., ПП1) и среднесарматского (I в. н.э., ПП2) времени, а также современная фоновая почва целинного участка (СП). С помощью биокинетического метода по накоплению диоксида углерода (C-CO₂) и подвижного минерального азота ($N_{\text{мин подв}} = N - \text{NH}_4^+_{\text{обм}} + N - \text{NO}_3^-$) в разные периоды аэробной инкубации (при 22°C и 24 вес. % влажности, 150 сут) почвенных образцов (гор. А1) оценивали размеры потенциально-минерализуемых пулов углерода (C_{пм}) и азота (N_{пм}) и кинетические константы минерализации (k, сут⁻¹) этих пулов. Долгосрочные инкубационные эксперименты, в отличие от краткосрочных, позволяют оценить не только количественные, но и качественные изменения в пулах С и N органического

Таблица 1. Содержание органического углерода ($C_{орг}$), органического азота ($N_{орг}$), потенциально-минерализуемых пулов углерода ($C_{пм}$) и азота ($N_{пм}$) и соотношение C:N в исследуемых почвах

Почва	$C_{орг}$	$N_{орг}$	$C_{пм}$	$N_{пм}$	$T^{1/2} (C_{пм})$	$T^{1/2} (N_{пм})$	$C_{орг} \cdot N_{орг}$	$C_{пм} \cdot N_{пм}$
	%	мг/100 г		сут				
ПП1 (V в. до н.э.)	0.64	54	10.38	1.65	29	6	11.8	6.3
ПП2 (I в. н.э.)	0.52	56	8.07	2.55	27	30	9.3	3.2
СП (целина)	1.02	106	76.14	5.56	40	30	9.6	13.7

вещества в зависимости от разных антропогенных воздействий и климатических изменений. Для определения размеров $C_{пм}$ и $N_{пм}$ и кинетических констант их минерализации кумулятивные величины продуцирования C-CO₂ почвами и величины накопления подвижного минерального азота в разные сроки инкубации аппроксимировали уравнениями экспоненциальной регрессии первого порядка. Расчеты проводили с использованием пакета программ Excel и Statistica, полученные данные достоверны на уровне значимости ≤ 0.05 .

В погребенных палеопочвах содержалось 0.64% (V в. до н.э.) и 0.52% (I в. н.э.) органического углерода ($C_{орг}$), а в современной каштановой почве оно было в 1.6 и 2.0 раза выше (таблица). Величины органического азота ($N_{орг}$), рассчитывали по разности между содержанием общего азота и суммой минеральных форм азота (обменный + необменный аммоний + нитраты) в погребенных палеопочвах были близкими, а в фоновой почве эта величина была 1.9 раза выше и составляла 106 мг/100 г. Содержание солерастворимого углерода ($C_{с/р}$) в палеопочвах составляло 3.23 и 2.70 мг/100 г (для почв V в. до н.э. и I в. н.э. соответственно), в современной – 4.98 мг/100 г. Исследуемые почвы характеризовались невысоким исходным содержанием подвижного минерального азота (0.68, 0.38 и 0.57 мгN/100 г соответственно в почвах ПП1, ПП2 и СП), который был представлен преимущественно обменным аммонием.

Современная почва за весь период инкубации продуцировала C-CO₂ в 6.7 и 8.7 раз больше, чем погребенные палеопочвы V в. до н.э. и I в. н.э. соответственно. Величины потенциально-минерализуемого пула углерода в палеопочвах были значительно ниже, чем таковые в фоновой почве (таблица). Доля $C_{пм}$ от $C_{орг}$ составила для почв, погребенных в V в. до н.э. и I в. н.э., соответственно 1.62 и 1.55%, для современной почвы она была значительно больше (7.47%). Константы скорости минерализации (k , сут⁻¹) $C_{пм}$ для погребенных палеопочв V в. до н.э. и I в. н.э. были равны 0.024 ± 0.001 и 0.026 ± 0.001 сут⁻¹ соответственно и в среднем были в 1.4 раза выше, чем для целинной почвы. Период полураспада $C_{пм}$ ($T^{1/2} = \ln 2/k$) для погребенных палеопочв составлял 29 и 27 сут, а для современной почвы – 40 сут.

За 150 сут инкубации в палеопочвах накопилось подвижного минерального азота больше, чем его содержалось в исходных образцах: в 2.9 (ПП1 V в. до н.э.) и 7.4 (ПП2 I в. н.э.) раз, а в современной почве – в 10.2 раз, при этом весь накопленный $N_{мин подв}$ был представлен в конце инкубации только нитратной формой. Величина потенциально-минерализуемого пула азота в современной каштановой почве была в 3.4 и 2.2 раза больше, чем таковая в палеопочвах, погребенных V в. до н.э. и I в. н.э. соответственно. Доля $N_{пм}$ от $N_{орг}$ в погребенных почвах составила 3.1% (ПП1) и 4.6% (ПП2), в фоновой почве – 5.2%. Кинетические константы минерализации $N_{пм}$ для палеопочвы I в. н.э. и современной почвы были одинаковы и равны 0.023 ± 0.001 сут⁻¹, а для палеопочвы V в. до н.э. константа скорости минерализации была в 5.0 раз выше (0.116 ± 0.0080 сут⁻¹). Периоды полураспада $N_{пм}$ для ПП2 и современной почвы составляли 30 сут, а для палеопочвы, погребенной в V в. до н.э. $T^{1/2}$ составил 6 сут.

Соотношение C:N потенциально минерализуемых пулов ($C_{пм} \cdot N_{пм}$) АОВП – чувствительного индикатора на различные антропогенные воздействия и климатические изменения окружающей среды – для погребенных палеопочв было значительно ниже, а для современной каштановой почвы, наоборот, значительно выше, чем соотношение $C_{орг} \cdot N_{орг}$ в исследуемых почвах (таблица), что указывает на большую устойчивость к разложению активного органического веще-

ства фоновой почвы и более влажные климатические условия в прошлые эпохи, что хорошо согласуется с данными почвенно-археологических исследований погребальных памятников в этом регионе.

Таким образом, для более полной и объективной оценки динамики и прогнозирования качества органического вещества почв следует определять соотношение C:N потенциально-минерализуемых пулов углерода и азота.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ПНЦБИ РАН № 122040500037-6.

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ЭКОСИСТЕМЕ ПОСТАГРОГЕННОГО БЕРЕЗОВОГО ЛЕСА НА ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ПУЩИНО»

**Курганова И.Н., Маханцева В.А., Лебедева Т.Н., Лопес де Гереню В.О., Кивалов С.Н.,
Волкова Т.Ю., Ходжаева А.К., Сапронов Д.В., Хорошаев Д.А., Соколов Д.А.,
Зинякова Н.Б., Митрохина Е.С., Личко В.И., Семенов В.М.**

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

ikurg@mail.ru

Процесс стихийного забрасывания сельскохозяйственных угодий получил в России широкое распространение в начале 90-х годов XX столетия как следствие экономического кризиса. В таежной, подтаежной и лесостепной зонах этот процесс, как правило, сопровождается восстановлением на заброшенных землях лесной растительности, а площади лесозарастающей пашни оцениваются сегодня величиной в 18–32 млн га [1, 3]. На динамику биологического круговорота и почвообразования в ходе постагрогенного лесовосстановления влияет не только формирование древостоя, но и наличие травяного яруса, особенно на начальных стадиях сукцессии [2]. Параллельно с восстановлением зональной растительности в ходе постагрогенной эволюции происходит закономерное изменение всех почвенных свойств: увеличиваются запасы биофильных элементов в бывшем пахотном слое, существенно меняется направленность и интенсивность потоков углерода в системе почва–растения–атмосфера [3]. Цель представляемого исследования заключалась в оценке основных пулов и потоков углерода в экосистеме постагрогенного березового леса на эколого-климатической станции «Пущино», расположенной в южном Подмоскowie в зоне широколиственных лесов.

Участок бывшей пашни, на которой в 2023 г. была организована Эколого-климатическая станция, был выведен из сельскохозяйственной обработки в 2002/2003 гг., и к настоящему времени на нем сформировался березняк разнотравный постагрогенный (максимальный возраст деревьев 16–19 лет). На площади около 25 га было заложено 5 постоянных пробных площадей (ППП, 50×50 м), на которых были выполнены таксационные работы и геоботанические описания, согласно методикам, утвержденным в рамках проекта «РИТМ углерода» (https://ritm-s.ru/account/personal/methods_2023/). Все ППП сформированы на серых суглинистых постагрогенных почвах с почвообразующими породами, представленными покровными суглинками. На каждой ППП закладывали полнопрофильный разрез (глубиной 130–140 см) и 2 полуямы (до глубины 60–80 см), в которых было выполнено морфологическое описание почвенных профилей, проведен отбор проб по генетическим горизонтам (A_{Урa} – A_{Уhh,el} – B_{el} – B_{T1el,i} – B_{T2i} – B_C), в каждом из которых определена плотность методом Качинского. В почвенных образцах определяли величину рН_{H₂O} при соотношении почва:раствор 1:2.5, полную влагоемкость (ПВ) нарушенных образцов, содержание органического углерода C_{орг} и общего азота N_{общ} методом сухого сжигания на автоматическом CN-анализаторе (Италия). В гумусово-аккумулятивном и гумусово-элювиальном горизонтах провели определение скорости базального дыхания (БД) и углерода микробной биомассы (C_{мик}) методом субстрат-индуцированного дыхания. В тех местах, где впоследствии были заложены разрезы и полуямы, с использованием ограничивающих рамок провели отбор фитомассы напочвенного покрова и подстилки, а в монолитах размером 25×25×30

Таблица 1. Оценка основных экосистемных пулов углерода в березняке разнотравном постагрогенном и запасы азота в почве.

Показатель*	Запас				Запас C _{орг} , т/га		Запас N _{общ} , т/га	
	древостоя, м ³ /га	сухостоя, м ³ /га	валежа, м ³ /га	подстилки, т/га	0–30 см	0–100 см	0–30 см	0–100 см
Mean	46.6	1.1	1.4	6.3	50.1	94.1	3.7	7.7
SE	14.6	0.7	0.6	0.5	1.8	3.0	0.1	0.2
CV, %	70	145	99	19	14	7	14	6

*Mean – среднее для 5 ППП, SE – стандартная ошибка, CV – коэффициент вариации.

см, определяли массу и численность дождевых червей. В течение летнего сезона 2024 г., используя метод закрытых камер, проводили еженедельные замеры эмиссии CO₂ из почв в 2-х различных локациях: березовом древостое и на участках с преобладанием травяной растительности. Методом турбулентных пульсаций в изучаемом биогеоценозе (БГЦ) за летний сезон 2024 г. был оценен баланс углерода (C).

В течение 20 лет постагрогенного развития на бывшей пашне сформировался разнородный по структуре березняк золотарниково-вейниковый с подростом осины и ивы (10Б+Ос,Ив). Древостой исследуемого БГЦ характеризуется малыми запасами сухостоя и валежа (таблица), составляющими всего 2.4 и 3.2% от его живой массы (46.6 м³/га). Видовое богатство изучаемого БГЦ (41±5 видов) почти в 2 раза превышает таковое в БГЦ расположенного поблизости вторичного смешанного леса 75-летнего возраста, а значения индекса Шеннона в этих БГЦ практически равны (1.72–1.77). Биомасса дождевых червей в молодом березняке составляет в среднем 40±10 г/м², а их численность равна 194±36 экз/м², что существенно ниже, чем во вторичном лесу.

Запасы C_{орг} и N_{общ} в верхнем 30-см слое почвы составляли около половины запасов этих элементов в верхней метровой толще (таблица). Содержание C_{мик} в верхнем 20-см слое в среднем равнялось 290 г C/кг почвы и резко убывало с глубиной. Все биологические показатели состояния почв под березняком постагрогенным были существенно ниже, чем в почве вторичного леса, верхний горизонт которой был более обогащен биофильными элементами.

Скорость эмиссии CO₂ из почв в летний сезон изменялась от 1.6 до 4.7 г C/м²/сут, а общее выделение CO₂ за весь летний сезон из почв под участками с древесной и травяной растительностью составило 268 и 282 г C/м², соответственно. Впервые используя метод вихревых пульсаций для оценки баланса C на лесозарастающей пашне, было показано, что среднее значение чистого экосистемного обмена (NEE) в березняке разнотравном за летний период 2024 г. составило около -2.14 г C/м²/сут, изменяясь от -3.75 г C/м²/сут в июне и резко снижаясь до 0.56 г C/м²/сут – в конце августа. Общий сток углерода за летний сезон (июнь-август) 2024 г. оценивается в пределах 160–180 г C/м².

Таким образом, лесозарастающие пахотные угодья в зоне широколиственных лесов содержат значительное количество углерода как в наземной фитомассе, так и в почвенном пуле. В летний сезон экосистема выступает безоговорочным стоком углерода атмосферы, способствуя снижению парникового эффекта.

Работа выполнена в рамках ВИП ГЗ "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации...» (рег. № 123030300031-6)".

Литература

1. Гичан Д.В., Тебенькова Д.Н. Заращение земель сельскохозяйственного назначения: объемы, причины, пути использования. Обзор // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6. № 3. Статья № 131. DOI 10.31509/2658-607x-202363-131
2. Телеснина В.М. Постагрогенная динамика растительности и свойств почвы в ходе демультипликативной сукцессии в южной тайге // Лесоведение. 2015. № 4. С. 192-205.

3. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Mostovaya A.S., et al. The Effect of Reforestation on Microbial Activity in Post-Agrogenic Soils in European Part of Russia // Contemporary Problems of Ecology, 2018, N 7. P.748-760.

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ТОРФЯНЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ И ЭУТРОФНЫХ ПОЧВАХ ОСТРОВА САХАЛИН

Липатов Д.Н., Манахов Д.В., Щеглов А.И.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 12, факультет почвоведения,
E-mail: lipatovdn@my.msu.ru, manakhovdv@my.msu.ru, shcheglov@mail.ru

В торфяных почвах сосредоточены значительные запасы углерода, торфяники выполняют важные биосферные функции. Деградация торфяных почв может приводить к нарушениям болотных экосистем, кардинальным изменениям гидрологических и биогеохимических процессов в ландшафтах. Мониторинг запасов углерода в различных типах торфяных почв является важной биогеохимической и экологической задачей.

В Сахалинской области болота занимают 6,4 тыс. км² или около 7,5 % общей площади территории. Широкое распространение на о. Сахалин имеют заболоченные леса. Цель работы – оценка запасов органического углерода (Сорг) в основных типах и подтипах торфяных почв о. Сахалин.

Исследования проводились в болотных угодьях и заболоченных лесах различных районов о. Сахалин. Закладывались почвенные разрезы, в том числе по траншеям, выкопанным на этапе строительства трасс подземных трубопроводов нефтегазовых проектов. Проводилось описание морфологического строения профилей, отбирались образцы из горизонтов почв. В пробах подстилочных и торфяных горизонтов измеряли массу сухого вещества и зольность, на основе которых рассчитывали массовую долю Сорг, в минеральных горизонтах анализировали содержание углерода методом Тюрина. Расчет запасов углерода проводили, используя общепринятые методики и суммируя оценки, полученные в подстилке, торфяных и минеральных горизонтах.

Протяженные заторфованные территории расположены в геоморфологических районах Северо-Сахалинской низменности и южной части Тымь-Поронайской низменности [1]. Здесь на торфяниках преобладают торфяные олиготрофные почвы [2], которые имеют строение профилей: О-ТО-ТТ-Ghi-СG. Глубина торфяной толщи в них составляет 1–2 м, а на болотных угодьях вблизи сел Онор, Леонидово, Гастелло может достигать более 5 метров. Исследованы подтипы торфяных олиготрофных почв на мелких, средних и глубоких торфах [3] (табл.). Зольность их торфа низкая: 2–8 %. Торфяная толща представлена несколькими горизонтами ТО1, ТО2, ТО3, ТО4, при этом степень разложения и зольность торфа возрастает вниз по профилю. Запасы Сорг в профилях этих почв повышаются прямо пропорционально увеличению мощности торфяной толщи: от 50 до 420 кг/м². В торфяных горизонтах ТО и ТТ сосредоточено 90–95% от всего запаса Сорг в профиле, около 2–3 % – в подстилке О и еще 4–6 % – в глеевом потечно-гумусовом горизонте Ghi, залегающем под торфом. В целом, проведенные расчеты показывают, что с ростом мощности торфяной олиготрофной толщи на каждые 10 см увеличивается запас органического углерода на 7–8 кг/м². При этом 1 м³ торфа аккумулирует в себе примерно 60–80 кг Сорг.

На о. Сахалин встречаются болотные и заболоченные угодья, пройденные пожарами. В исследованных торфяных пирогенных почвах профиль имеет следующее строение: О-Труг-Ghi-СG. Запасы углерода в пирогенных почвах сокращены вследствие частичного сгорания верхней части торфяной толщи и меньшей массы подстилочного горизонта. Деградация торфяников вследствие пожаров приводит к необратимому сокращению запасов органического углерода в болотных ландшафтах.

Торфяные эутрофные почвы исследованы в долинах рек Тымь, Леонидовка, Мануй, а также на территории Южно-Сахалинской низменности вдоль реки Сусуя. Эти почвы имеют

Таблица 1. Запасы Сорг в различных подтипах торфяных почв о. Сахалин

Тип, подтип почвы	Мощность торфяной толщи, м	Зольность торфа, %	Запасы Сорг в горизонтах и профиле, кг/м ²			
			Горизонт О	Горизонты торфяной толщи (Т)	Горизонт Ghi	Суммарно в профиле
Торфяные олиготрофные на глубоких торфах	> 2,0	2–8	3–4	150–400 (ТО-ТТ)	12–17	170–420
Торфяные олиготрофные на средних торфах	1,0–2,0	2–8	3–4	70–150 (ТО-ТТ)	10–15	85–170
Торфяные олиготрофные на мелких торфах	0,5–1,0	2–8	3–4	40–70 (ТО)	7–12	50–85
Торфяные эутрофные	0,5–1,0	8–20	2–4	30–90 (ТЕ)	6–12	40–80
Торфяные пирогенные	0,5–1,0	10–25	1–3	30–50 (Труг)	4–8	35–60
Торфяно-глееземы	0,2–0,5	20–50	1–3	10–40 (Тmr)	2–5	15–40

строение профилей: О-ТЕ-ТТ-Ghi-SG. Глубина торфяной толщи в них составляет 0,5–1,0 м, зольность торфа равна 8–20 %. В профилях торфяных эутрофных почв можно выделить горизонты ТЕ1, ТЕ2, в отдельных случаях ТТ по морфологическим признакам и степени разложения торфа. Запасы Сорг в торфяных эутрофных почвах о. Сахалин варьировали от 40 до 100 кг/м². Они меньше, чем в торфяных олиготрофных почвах. При этом более 80 % запаса углерода приходится на торфяные горизонты (табл. 1).

В заболоченных лесах о. Сахалин исследованы торфяно-глееземы, которые характеризуются укороченной торфяной толщей (менее 50 см), имеют строение почвенного профиля: О-Т-Ghi-SG. Торфяный горизонт в этих почвах встречался с примесью ила, минеральной массы Тmr, а также признаками перегнойного ТЕh, поэтому они отнесены к различным подтипам торфяно-глееземов. Запасы Сорг в торфяно-глееземах значительно меньше, чем в торфяных олиготрофных и эутрофных почвах. В торфяно-глееземах существенная доля (10–25 %) запаса углерода отмечена в верхней минеральной толще, представленной глеевым потечно-гумусовым горизонтом Ghi.

Таким образом, исследованные почвы следует ранжировать в следующий ряд по уменьшению величины запасов углерода: торфяные олиготрофные на глубоких торфах > торфяные олиготрофные на средних торфах > торфяные олиготрофные на мелких торфах > торфяные эутрофные > торфяные пирогенные > торфяно-глееземы. Основным показателем, который определяет запас углерода в этих почвах, является мощность торфяной толщи.

Оцениваемые запасы торфа составляют на основных заторфованных территориях: Северо-Сахалинской низменности – около 1,1 млрд м³, южной части Тымь-Поронайской низменности – 2,3 млрд м³, Южно-Сахалинской низменности – 0,5 млрд м³, значит, в них суммарно сосредоточено примерно 0,3 млрд тонн органического углерода.

Литература

1. Властова Н.В. Торфяные болота Сахалина. Л.: Изд-во АН СССР, 1960.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004.
3. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977.

АНАЛИЗ ВРЕМЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ И ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ CO₂ ИЗ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ НА ОСНОВЕ 25-ЛЕТНИХ НЕПРЕРЫВНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Мякшина Т.Н.,
Сапронов Д.В., Хоршаев Д.А., Кивалов С.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино
vlopes@mail.ru

Эмиссия CO₂ из почв (ЭM_{CO2}) отличается высокой временной и пространственной вариабельностью, которая определяется комплексом абиотических и биотических факторов. Поэтому, особый интерес представляют длительные ряды наблюдений за эмиссией CO₂ из почв в различных экосистемах, которые позволяют: (i) получить адекватные оценки месячных, сезонных и годовых потоков CO₂ из почв и их межгодовой вариабельности, (ii) определить отклик сезонных и годовых потоков CO₂ из почв на современные климатические тренды и сукцессии растительности, и (iii) выполнить параметризацию и провести оценку точности эмпирических и статистических моделей. В рамках представляемой работы, опираясь на данные непрерывного 25-летнего мониторинга за ЭM_{CO2} из почв двух лесных экосистем южного Подмоскovie проведен анализ межгодовой вариабельности месячных, сезонных и годовых потоков CO₂ из почв и выявлены факторы, которые ее определяют. На основе имеющегося ряда экспериментальных данных была оценена температурная чувствительность ЭM_{CO2} с использованием эмпирических регрессионных зависимостей и протестированы 3 типа нелинейных T&P моделей с целью оценки соответствия расчетных данных результатам полевых измерений.

Наблюдения за ЭM_{CO2} из почв проводили непрерывно, начиная с ноября 1997 г. в двух лесных ценозах, расположенных на территории Приокско-Террасного биосферного заповедника (ПТБЗ, старовозрастный смешанный лес, песчаный дерново-подбур) и вблизи опытно полевой станции ИФХиБПИ РАН (вторичный лиственный лес, суглинистая серая почва). ЭM_{CO2} из почв, включающую корневую и микробную составляющие, определяли круглогодично (3–5 раз в месяц) с использованием камерного статического метода. Параллельно контролировали температуру (Tп) и влажность (Wп) почвы в слое 0–5 см. В работе обобщены данные 25-летних измерений (1998–2022), в течение которых наблюдались самые разные сочетания погодных условий. Для их характеристики на основе рядов метеорологических данных, представленных среднемесячными температурами воздуха (Tв, °C) и месячными суммами осадков (P, мм), наряду со среднегодовыми значениями Tв (MAT, °C), годовыми суммами осадков P (SP, мм), суммами осадков за периоды май–август (SP₅₋₈) и май–сентябрь (SP₅₋₉), были рассчитаны индексы влажности (WI₅₋₈, WI₅₋₉) и гидротермический коэффициент Селянинова за летний период (HTC₆₋₈).

Оценку температурного отклика величины ЭM_{CO2} (температурный коэффициент Q₁₀) из почв в исследуемых лесных экосистемах проводили (i) для всего 25-летнего ряда экспериментальных данных, (ii) для совокупностей данных по отдельным календарным сезонам, а также (iii) за сухие, влажные и нормальные по условиям увлажнения годы и (iv) дифференцированно для каждого года в отдельности. Величину Q₁₀, рассчитывали на основе линейной регрессионной зависимости между натуральным логарифмом ЭM_{CO2} и Tп на глубине 5 см. Значения Q₁₀ оценивали для всего ряда данных и для выборки значений ЭM_{CO2}, измеренных в интервале Tп выше 1°C, с тем, чтобы избежать влияния процессов замораживания оттаивания на величину Q₁₀.

Наши расчеты показали, что в период с 1998 по 2014 г. суммарная годовая ЭM_{CO2} из почв лесных ценозов демонстрировала очень близкие значения, свидетельствуя о том, что в исследуемый период тип почвы не оказывал значимого влияния на годовую ЭM_{CO2} из почв. Начиная с 2014 г., годовые потоки CO₂ из серой суглинистой почвы становятся существенно выше таковых из супесчаного дерново-подбура, что, по всей вероятности, связано с понижением уровня грунтовых вод в лесном ценозе ПТБЗ вследствие усиления аридизации климата в регионе. Это привело к уменьшению эмиссионных потерь CO₂ из песчаного дерново-подбура и практически не отразилось на потоках CO₂ из серых суглинистых почв. Средние многолетние величины годовой ЭM_{CO2} из почв лесных ценозов составили 579±46 и 621±56 г C/m²/год для дерново-подбура и серой почвы, соответственно, и достоверно между собой не различались.

Выявлена положительная связь величины годовых потоков CO_2 из почв лесных ценозов с метеорологическими индексами, основанными на количестве осадков за разные временные периоды (SP_{5-8} , SP_{5-9} , WI_{5-8} , WI_{5-9} , HTC_{6-8}). Обнаруженные зависимости были более выражены для песчаного дерново-подбуря по сравнению серой суглинистой почвой.

Выявлено, что величина EM_{CO_2} характеризуется высокой временной вариабельностью на всех уровнях осреднения – месячном, сезонном и годовом. Величина месячных потоков CO_2 из почв контролируется среднемесячной T_v , в то время как величина годовых потоков CO_2 из почв в большей степени зависит от значений летнего гидротермического коэффициента. Самым стабильным показателем, характеризующим особенности сезонного распределения потоков CO_2 в пределах года, является вклад теплого периода (май–октябрь) в суммарный годовой поток CO_2 из почв, в среднем составлявший 73–77%.

Температурная чувствительность EM_{CO_2} из дерново-подбуря песчаной текстуры была выше, чем серой суглинистой почвы: 2.47 vs 2.26. Межгодовая изменчивость значений Q_{10} для EM_{CO_2} в лесных экосистемах составляла 18-40% в зависимости от температурного интервала, для которого проводился расчет, и уровня засушливости/увлажненности года исследований. Так, значения Q_{10} для значений EM_{CO_2} из изученных почв в засушливые годы были в 1.3–1.4 раза ниже, чем в годы с нормальным уровнем влажности. Для обоих типов почвы мы наблюдали значительную положительную корреляцию значений Q_{10} с количеством осадков и индексами влажности WI_{5-8} и WI_{5-9} в разные периоды вегетационного сезона. Выявлено, что влагообеспеченность, которая определялась условиями засушливости в течение вегетационного периода, была ключевым фактором межгодовой изменчивости значений Q_{10} в лесных экосистемах южного Подмосковья, а текстура почвы влияла на тесноту связи между температурной чувствительностью EM_{CO_2} и метеоиндексами.

Все версии T&P модели удовлетворительно описывали многолетнюю временную динамику среднемесячной интенсивности SR под лесной растительностью. Выявлено, что для песчаного дерново-подбуря целесообразнее использовать модели, учитывающие запасы C в верхнем 0–10 (или 0–20) см слое почв, в то время как для суглинистой серой почвы наилучшие результаты показывала модель Райха-Хашимото (TRPrh), в которой учитывается количество осадков за текущий и предыдущий месяцы. Использование T_p для параметризации модели давало лучшие результаты, чем применение T_v .

Таким образом, ключевыми факторами, определяющим величину годовых потоков CO_2 из почв и температурную чувствительность почвенной EM_{CO_2} в лесных экосистемах южного Подмосковья являются сумма осадков и индексы влажности, рассчитанные на ее основе для разных периодов вегетационного сезона. Для улучшения точности моделирования среднемесячных величин EM_{CO_2} из почв, при выборе оптимальной модели важно учитывать запасы углерода в верхнем слое почв и их водоудерживающую способность.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН № 122040500037-6) Государственного задания Министерства и образования РАН (тема № 122111000095-8)

СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ ИДЕЙ В.А. КОВДЫ О РОЛИ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ В ПОЧВЕ И В СИСТЕМЕ «ПОЧВА–РАСТЕНИЕ»

Матыченков В.В., Бочарникова Е.А.

Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
Институтская 2, г. Пушкино, 142290, Россия, E-mail: mswk@rambler.ru

В.А. Ковда неоднократно обращал внимание на значение и функции кремниевых соединений в почве и системе почва-растение [5]. Несмотря на то, что в почве кремний представлен преимущественно труднорастворимыми и, следовательно, биогеохимически инертными соединениями, данный элемент играет важную и до конца не оцененную роль, контролируя многие физико-химические и биологические процессы и активно участвуя в формировании почвенного плодородия.

Работы по изучению кремния в почве в основном посвящены исследованию почвенных минералов, что является логичным, поскольку в почве преобладают диоксид кремния и различные алюмосиликаты [3]. «Все были загипнотизированы общепризнанным положением о геохимической инертности кварца. Ему приписывалась роль «свидетеля» элювиальных процессов и неизменное остаточное накопление в продуктах элювиального почвоведения», - объяснял отношение ученых к соединениям кремния в почве В.А. Ковда (1985). Виктор Абрамович был одним из первых исследователей, начавших изучать миграцию и аккумуляцию соединений кремния в почвах. В.А. Ковда разделил аккумуляционные процессы кремния в аридных и гумидных областях [4]. Среди учеников В.А.Ковды, которые продолжили исследование роли и функций кремния в почве можно отметить таких ученых, как В.Е. Приходько, А.Г. Назаров, В.Н. Башкин.

Помимо твердых соединений кремния в почвенном растворе постоянно присутствуют его растворимые формы – мономеры и полимеры кремниевой кислоты и кремний-органические соединения, характеризующиеся высокой химической и биологической активностью, которые и определяют биогеохимический цикл кремния в системе почва-растение [1, 11]. Растворимые кремниевые соединения постоянно поступают в почвенный раствор в результате гидролиза алюмосиликатов, оксидов кремния и минерализованных растительных остатков. Среднее содержание диоксида кремния в природных водах, в том числе и почвенных, составляет 18,2 мг/л [2].

Помимо гидролиза, в почве идет интенсивное биологическое выветривание. Одним из важнейших звеньев биогеохимического цикла кремния в почве, которое контролирует содержание растворимых соединений кремния в верхних почвенных горизонтах, является мобилизация элемента растениями и микроорганизмами [8]. Объем наземного биогеохимического цикла кремния сопоставим, а часто и превосходит биогеохимические циклы азота, калия и фосфора [11]. Сельскохозяйственные растения выносят значительные количества Si – от 30 до 700 кг/га, что вызывает дефицит монокремниевой кислоты и приводит к деградации почвенного плодородия.

Как свидетельствуют современные исследования, растворимые кремниевые соединения оказывают влияние на многие почвенные свойства и процессы: уровень рН, устойчивость почвенного органического вещества, подвижность тяжелых металлов, алюминия, фосфора, активность почвенной микрофлоры и другие [9, 10]. Однако процессы миграции и трансформации подвижных соединений кремния в почвенном профиле до сих пор изучены недостаточно.

Интерес к кремнию агрохимиков и физиологов растений резко возрос за последние 10-15 лет [6]. Во многом это вызвано уникальными свойствами кремниевых препаратов, которые позволяют повысить адаптивность сельскохозяйственных растений к современным климатическим изменениям (аномальным температурам, недостатку воды), а также их эффективностью при восстановлении загрязненных и деградированных почв [10]. В настоящее время появляется все больше работ, результаты которых свидетельствуют о способности монокремниевой кислоты и тонкодисперсного диоксида кремния влиять на генетический аппарат растений, произрастающих в стрессовых условиях, путем активации генов, участвующих в функционировании защитной системы растений, и восстановления окислительно-восстановительного баланса клеток [7].

Были разработаны методики определения активных форм кремния в почве, растениях и кремнийсодержащих агрохимикатах. Была разработана и апробирована классификация почв по уровню дефицита биодоступных соединений кремния [1]. Таким образом, созданы инструменты для систематического изучения роли и функций кремния в почве и системе почва-растение.

Литература

1. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В. Методы исследования активных форм кремния в природных водах, почвах, растениях и агрохимикатах. Агрохимия, 2023, №12, С. 92-97.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989, 439 с.
3. Ковда В.А. Трубин А.И. О влиянии гуминовых кислот на синтез минерала монтмориллонитовой группы. Почвоведение, 1977, № 2.
4. Ковда В.А., Родэ О.Д. Вторичный кварц в продуктах выветривания в пустынях Египта. Почвоведение, 1967, №10, С.139-141.
5. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985, 263 с.

6. Ahire M. L., Mundada P. S., Nikam T. D., Bapat V. A., Penna S. Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2021, V. 169, P. 291-310.
7. Bhardwaj S., Sharma D., Singh S., Ramamurthy P. C., Verma T., Pujari M., ... Prasad R. Physiological and molecular insights into the role of silicon in improving plant performance under abiotic stresses. *Plant and Soil*, 2023, V. 486(1), P. 25-43.
8. Bocharnikova E. A., Matichenkov V. V. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2012, V. 10(4), P. 547-560.
9. Ma J. F., Takahashi E. *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*. Amsterdam: Elsevier, 2002, 281 p.
10. Matichenkov V. V., Bocharnikova E. A., Pakhnenko E. P., Khomiakov D. M. Effect of Si-rich substances on phosphorous adsorption by sandy soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, V. 24, P. 24311-24317.
11. Struyf E., Smis A., Van Damme, S., Meire P., Conley D. J. The global biogeochemical silicon cycle. *Silicon*, 2009, № 1, P. 207-213.
12. Wang L., Ashraf U., Chang C., Abrar M., Cheng X. Effects of silicon and phosphatic fertilization on rice yield and soil fertility. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2020, V. 20, P. 557-565.

ТЕРМОДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМА

Милановский Е.Ю.¹, Пинский Д.Л.¹, Фарходов Ю.Р.², Матвеева Н.В.², Данилин И.В.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – ФИЦ «Пушинский научный центр биологических исследований РАН», ул. Институтская, 2, Пушкино, Московской области, 142290, Россия, e-mail: milanovskiy@gmail.com, milanovskiy@pbcras.ru

² ФИЦ Почвенный институт имени В.В. Докучаева,
Пыжевский пер., д.7, стр.2, Москва, 119017, Россия

Углерод в составе почвенного органического вещества (ПОВ) представляет основной запас органического углерода (Сорг.) современных экосистем суши Земли [3]. Современная проблема глобального изменения климата и связанные с ней исследования циклов углерода в окружающей среде, процессов дегумификации и секвестрации углерода, зависящих от оценки пространственно-временных изменений запасов ПОУ на глобальном и региональном уровне, обуславливают актуальность исследования природы ПОВ, его взаимосвязи с климатом и системами землепользования.

Содержание углерода в почве определяет комбинация пулов углерода с широким диапазоном времени пребывания ПОУ, связанного с механизмами его стабилизации: физической и физико-химической, химической и микробиологической устойчивостью. Используемые методы фракционирования (гранулометрическое, денсиметрическое, их комбинации) ПОВ позволяют выделить фракции, представляющие смесь лабильного и стабильного углерода [4]. Массовое изменение ПОВ в зависимости от температуры, связанное с его химическими и термическими характеристиками, рассматривают как интегральный показатель устойчивости ПОВ, позволяющий оценить размеры стабильного и активного пулов [1, 2].

Цель исследования – аналитическая характеристика ПОВ после инкубации образцов почв при температурах 150° и 200°С.

Объекты исследования. Чернозем типичный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке (Haplic Chernozems Loamic, Pachic) на абсолютно заповедном участке Стрелецкой степи Центрально-Черноземного государственного биосферного заповедник имени А.А. Алехина – чернозем степь (ЧС) 51°34'17.0"N 36°05'37.0"E, слой 0-10 см и чернозем длительной пашни (ЧП), слой 0-10 см, на поле в 408 метрах южнее от точки ЧС (51°34'04.9"N 36°05'45.5"E).

Методы. Термодеструкцию ПОВ изучали на воздушно сухих образцах ЧС и ЧП (≈ 10 г, ≤ 0.25 мм, 3х кратная повторность), помещенных в высушенные при 105°С стеклянные бюксы и сушили при 105°С до постоянной массы (≈ 10 час.). Бюксы с абсолютно сухой почвой поместили в нагретый до 150 и 200°С сушильный шкаф (СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3,5-И, НПО ТЕРМИК, Россия) и

регулярно взвешивали с интервалами от 1 до 24 часов. Время инкубации образцов при 150°C 1262 часа. При 200°C образцы ЧС инкубировали 1135,5 часа, а образцы ЧП – 940,5 часа. После завершения инкубационного эксперимента, образцы тщательно перемешивали и хранили в пробирках Falcon на 15 мл при комнатной температуре. В исходных образцах и в образцах после инкубации при 150°/200°C определяли рН, содержание общего углерода, азота на анализаторе Vario Macro CN. Карбонаты в данных почвах присутствовали на глубине более 80 – 100 см. Поэтому содержание общего углерода соответствовало органическому углероду (Сорг.).

Измерение краевого угла смачивания (КУС) твердой фазы почв проведено на цифровом гониометре OSA 15EC (DataPhysics, Германия) с видеокамерой (30 кадров в секунду). Молекулярный состав ПОВ оценивали методом одностадийного аналитического пиролиза с газовой хроматографией и масс-спектрометрическим окончанием на пиролизере EGA/PY-3030D (Frontier Laboratories, Япония) и газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором GCMS-QP2010 (Shimadzu, Япония).

Снижение массы образца при термодеструкции описывается степенной функцией с высоким коэффициентом корреляции: ЧС150°C $y = 100.81x - 0.007$ $R^2 = 0.78$, ЧП150°C $y = 100.09x - 0.003$ $R^2 = 0.87$; ЧС200°C $y = 99.598x - 0.015$ $R^2 = 0.98$, ЧП200°C $y = 99.338x - 0.006$ $R^2 = 0.97$. Общая потеря массы образцов составила 4.4 и 2.2% (ЧС150°C ЧП150°C); 10.1 и 4.7% (ЧС200°C, ЧП200°C). Содержание углерода (%) и насыщенность ПОВ азотом (C/N) в исходных образцах составляло 6.90 ± 0.06 и 12.11 ± 0.09 (ЧС); 3.44 ± 0.08 и 13.23 ± 0.11 (ЧП). После инкубации проб при 150°C - 4.81 ± 0.06 , 8.96 ± 0.11 (ЧС); 2.55 ± 0.09 (ЧП), при инкубации 200°C - 2.26 ± 0.07 , 6.40 ± 0.01 (ЧС) и 1.41 ± 0.03 , 8.16 ± 0.15 (ЧП). Термическая обработка привела к изменению рНН₂O - исходные ЧС/ЧП $5.91 \pm 0.02/6.03 \pm 0.05$; ЧС150°C/ЧП150°C - $4.86 \pm 0.02/5.31 \pm 0.01$; ЧС200°C/ЧП200°C - $6.49 \pm 0.07/6.63 \pm 0.02$. КУС (градусы) твердой фазы почв до термического воздействия $52.0 \pm 5.6/29.1 \pm 3.41$ (ЧС/ЧП); инкубация образцов при 150°C привела к снижению их смачиваемости $54.4 \pm 5.5/50.1 \pm 4.2$ (ЧС150°C/ЧП150°C), и повышенной смачиваемости после 200°C - $34.2 \pm 5.6/20.8 \pm 3.1$ (ЧС200°C/ЧП200°C).

Молекулярный состав ПОВ. Было идентифицировано 44 пиролизата, характеризующих компонентный состав ПОВ. Продукты пиролиза разделены на группы в зависимости от химического строения и вклада в дисперсию данных. Выделено 7 групп: алканы, МАУ, ПАУ, пирролы, фураны, пиридины и бензофураны. При 150°C происходит термическая деградация липидов, лигнинов и танинов. Остаются конденсированные молекулы с меньшим количеством функциональных групп, которые обладают меньшей гидрофильностью, чем исходное ПОВ, происходит гидрофобизация твердой фазы. После 200°C и эти органические структуры исчезают, а остаются сильно разложенные углеводы (гидрофильные) и азотсодержащие компоненты. Их термическую стабильность обуславливает сорбция на минеральной матрице. Высокая доля пиридина, часто указывает на устойчивость ПОВ.

Анализ денсиметрических фракций из исходных образцов и прошедших термическое воздействие, позволит в дальнейшем идентифицировать наличие или отсутствие функциональной специфичности между пулами ПОВ и их термической устойчивостью.

Литература

1. Cécillon, L., Baudin, F., Chenu, C., Christensen, B. T., Franko, U., Houot, S., Kanari, E., Kätterer, T., Merbach, I., van Oort, F., Poeplau, C., Quezada, J. C., Savignac, F., Soucémarianadin, L. N., and Barré, P.: Partitioning soil organic carbon into its centennially stable and active fractions with machine-learning models based on Rock-Eval thermal analysis (PARTYSOCv2.0 and PARTYSOCv2.0EU), *Geosci. Model Dev.*, 2021, 14, 3879–3898, <https://doi.org/10.5194/gmd-14-3879-2021>.
2. Chassé M., Lutfalla S., Cecillon L., Baudin F., Abiven S. Long-term bare-fallow soil fractions reveal thermochemical properties controlling soil organic carbon dynamics. *Biogeosciences*, 2021, 18 (5), pp.1703 - 1718.
3. Lehmann J, Kleber M. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*. 2015 Dec 3;528(7580):60-8. doi: 10.1038/nature16069. Epub 2015 Nov 23. PMID: 26595271.
4. Sanderman, J. and Grandy, A. S.: Ramped thermal analysis for isolating biologically meaningful soil organic matter fractions with distinct residence times, *SOIL*, 2020. 6, 131–144, <https://doi.org/10.5194/soil-6-131-2020>

ПИРОГЕННЫЙ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЙ ПОДГОРИЗОНТ В ПОЧВАХ СОСНОВЫХ ЗЕЛЕНОМОШНЫХ ЛЕСОВ – ВКЛАД В ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ВЛАГИ

Надпорожская М.А., Толстоусова С.А.

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9
m.nadporozhskaya@spbu.ru, st090435@student.spbu.ru

Актуальна инвентаризация запасов и динамики органического вещества (ОВ) в почвах. Крупнейшие биомы суши, бореальные леса, аккумулируют 25-40% от запасов углерода в наземных экосистемах. В России произрастает пятая часть лесов мира и более половины бореальных лесов планеты [1]. Запасы ОВ в лесных почвах России недооценены [8]. Ранее полученные данные представлены не для всех районов страны и недостаточно детализированы по типам растительности и сукцессионному статусу. Даже в пределах почвенного профиля запасы ОВ могут быть оценены, с одной стороны, не на достаточную мощность – чаще 30 см, а не 50 или 100 см [1], с другой стороны, даже в верхних 30 см почвенного профиля можно найти упущенные для учета составляющие запасов ОВ.

Было предложено выделение пирогенного органоминерального подгоризонта Еоруг в почвах сосновых зеленомошных лесов [6]. Еоруг залегает под лесной подстилкой, в полевых описаниях подзолов его обычно отмечают как поверхностный слой подзолистого горизонта, обогащенный древесными углями. Аналогичный подгоризонт Еоруг есть и подбурах, но его маскирует ржаво-бурая окраска иллювиально-железисто-гумусового горизонта ВНФ. После низовых пожаров древесные угли и пирогенный детрит (частично обугленные растительные остатки) поступают на поверхность минерального слоя гарей. При слабой турбации поверхности гари формируется Еоруг. Дисперсные пирогенные продукты мигрируют по профилю, формируя пирогенный подзолистый горизонт Еруг. Крупные древесные угли в Еруг, внедряются интенсивной турбацией или образуются в почве после обугливания корней высокотемпературными пожарами. Восстанавливающаяся после пожаров лесная подстилка нарастает поверх Еоруг, способствуя его сохранению. Пирогенный органоминеральный подгоризонт является лабильным образованием, как и лесная подстилка, его динамика зависит от силы и частоты лесных пожаров. Подгоризонт Еоруг невелик по мощности (1-3 см), но содержит пирогенные продукты, древесный уголь и сажу, устойчивые к разложению. Состав Еоруг: >2 мм (крупная фракция), 1-2 мм (средняя) и <1 мм (мелкозем). Во всех фракциях есть древесные угли, детрит и минеральные частицы. Крупную фракцию при пробоподготовке обычно отбрасывают. При исключении минеральных частиц >2 мм происходит завышение запасов ОВ. При исключении детрита и древесных углей >2 мм – занижение запасов ОВ. При среднем содержании крупного детрита 1% от массы пробы, вклад его в ОВ Еоруг около 10%. Запасы лесных подстилок в изученных нами подзолах и подбурах сосновых зеленомошных лесов соответствуют литературным данным [2, 3, 4, 7]. Запасы ОВ в Еоруг варьируются от 100 г/м² до 4 кг/м² вследствие неравномерного поступления пирогенных продуктов на гари, из-за неоднородности растительного и почвенного покровов, нанорельефа и т.д. Доля Еоруг в общих запасах ОВ подстилки и верхних 30 см минерального профиля составляет 6-25%, в запасах ОВ подстилки и Еоруг около 20% [6]. Сосновые леса занимают около 40% лесопокрытой площади Ленинградской области, примерно 1867 тыс. га [5]. По нашим оценкам запасы ОВ в лесной подстилке и Еоруг изученных подзолов и подбуров составляют в среднем 4,2 и 1,2 кг/м². Тогда запасы ОВ в почвах сосняков-зеленомошников Ленинградской области будут составлять 78 и 22 млн. т в подстилке и Еоруг, соответственно. Значения запасов ОВ в лесной подстилке близки к экспертным оценкам, 92 млн тонн для Ленинградской области [2]. Вероятно, наша оценка вклада Еоруг в запасы ОВ почв реалистична.

Нами также рассчитаны запасы влаги в лесной подстилке и Еоруг на момент проведения полевых работ. Например, в изученных подзолах запасы влаги составляли в лесных подстилках 10, 9 и 10 мм, в Еоруг 7, 3 и 1 мм для ключевых участков 1-16 и 2-16 (южное побережье Финского залива) и 3-16 (Сяберо, Лужский район), соответственно. В подстилках содержалось 60-90 %, а

в Еоруг 10-40 % от их общих влагозапасов. Запасы влаги в поверхностных горизонтах лесных почв зависят от погодных условий: количества выпавших осадков, длительности сухого периода. Полученные данные следует проверить в режимных исследованиях.

Работа поддержана грантом РФФ 22-24-00690 «Запасы и функции пирогенного углерода в почвах сухих сосновых лесов Ленинградской области».

Литература

1. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 232 с.
2. Алексеев В. А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск, 1994. 170 с.
3. Бахмет О.Н. Запасы углерода в почвах сосновых и еловых лесов Карелии // Лесоведение. 2018. № 1. С. 48-55.
4. Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Горнов А.В., Горнова М.В., Тихонова Е.В., Смирнов В.Э., Данилова М.А., Тебенькова Д.Н., Браславская Т.Ю., Кузнецов В.А., Ткаченко Ю.Н., Геникова Н.В. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России// ПОЧВОВЕДЕНИЕ, 2020, № 8, с. 1–12.
5. Федорчук В.Н., Нешатаев В.Ю., Кузнецова М.Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России: Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. 382 с.
6. Nadporozhskaya, M.; Mirin, D.; Zhuravleva, V.; Stadnik, E.; Yakkonen, K. Introducing a New Pyrogenic Podzolic Sub-Horizon to Clarify Organic Matter Pools in Pine Forest Soils. Forests 2024, 15, 40. . <https://doi.org/10.3390/f15010040>
7. Osipov, A.F.; Bobkova, K.S.; Dymov, A.A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi republic of Russia. Geoderma Regional 2021, 27. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00427>
8. Shchepashchenko, D.; Moltchanova, E.; Fedorov, S.; Karminov, V.; Ontikov, P.; Santoro, M.; See, L.; Kositsyn, V. (2021). Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. Scientific Reports 2021, 11, 1-7, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО И НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Нестерук Г.В.

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону. пр. Чехова, 41, galanesv@yandex.ru

Известно, что в литосфере содержится около 0,35% углерода, в живом веществе порядка 18% [1]. Исключительная роль углерода как основа жизнедеятельности организмов, а также его связь с климатическими циклами повышают актуальность совершенствования методов его оценки, что привлекает внимание ученых [2, 7].

Для определения $C_{орг}$ применен метод мокрого озоления по ГОСТ 26213-91 [3] (имеющий ограничения, но доступный и позволивший накопить базу данных) с последующим фотометрированием на «Флюорат-02-Панорама». Содержание карбонатов анализировали с помощью двух обладающих разной чувствительностью методов: ацидометрическим по [5] и инструментальным на карбонатометре КМ-04С. Согласно ранее проведенным исследованиям [4], результаты анализа высоко- и среднекарбонатных проб данными методами сопоставимы, однако преимущество отдается экспрессному и более прямому определению на приборе. А при низких уровнях карбонатов (<0,8%) результаты инструментального уточняются ацидометрическим определением. По [6] потери при прокаливании донных отложений озер LOI_{550} коррелируют с содержанием органического вещества, LOI_{950} – с содержанием карбонатов. Значения LOI широко используются (Panin et al, 2023 и др.) при палеопочвенных исследованиях и изучении стратиграфии разрезов.

Проанализировано 94 образца из генетических горизонтов разных типов почв Ростовской области: 2 разреза черноземов южных, палеочернозем, эродированный чернозем на делювиальных отложениях, 3 разреза аллювиально-луговых (Каменский район), 2 разреза обыкновенных карбонатных черноземов, палеочернозем, 2 разреза лугово-черноземных почв (Неклиновский район).

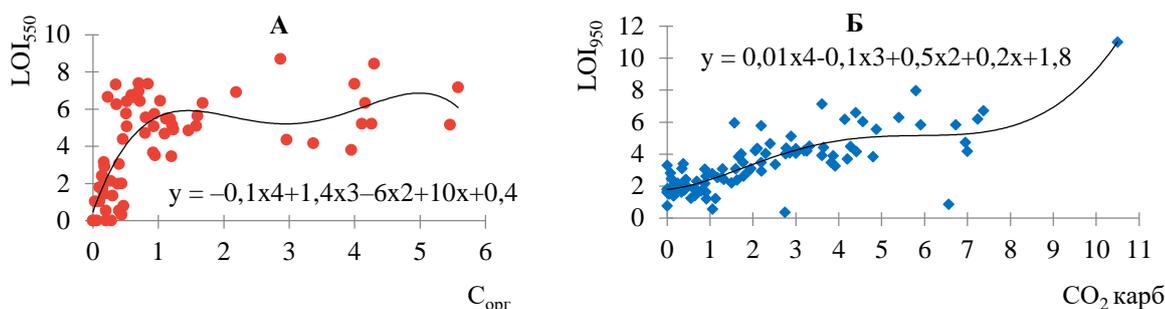


Рис. 1. Зависимость между содержанием органического вещества в почве $C_{\text{орг}}$ и потерями при прокаливании LOI_{550} (А). Зависимость между содержанием карбонатов $CO_2 \text{ карб}$ и потерями при прокаливании LOI_{950} (Б). Все величины в %.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции (r) между содержаниями углерода (%) и LOI (%)

	черноземы	в т.ч. незасоленные	аллювиально-луговые	все исследуемые
$C_{\text{орг}} - LOI_{550}$	0,51	0,64	0,88	0,69
$CO_2 \text{ карб.} - LOI_{950}$	0,91	0,91	0,57	0,88

В исследуемых почвах содержание $C_{\text{орг}}$ варьировало от 0,03 до 5,58%. В черноземах оно составляло 0,06–4,26 (в среднем 1,17)%, в том числе в слабозасоленных 0,35–1,58 (0,91); в аллювиально-луговых почвах 0,03–5,58 (1,32)%. Содержание $CO_2 \text{ карб.}$ в образцах черноземов составляло 0–10,5 (2,71)%, в т.ч. засоленных – 0–4,8(2,38)%; аллювиально-луговых 0–1,9 (0,59)%. Потери почвенной массы при прокаливании 550°C (LOI_{550}) имели близкие значения в аллювиально-луговых 0–8,43 (3,02)% и черноземных почвах 0–8,78 (5,08)%. При этом, в засоленных черноземах значения LOI_{550} довольно высоки 4,38–7,38 (5,94)%. При прокаливании проб в муфеле при 950°C LOI_{950} для черноземов составляли 0,36–11,0 (3,74)%, в т.ч. засоленных – 1,6–4,02 (2,97)%; для аллювиальных почв – 0,56–5,96 (2,23)%.

При построении кривых зависимости между содержаниями углерода и потерями массы всех анализируемых образцов при прокаливании выявлена полиномиальная зависимость значений LOI_{550} от содержания органического углерода и зависимость LOI_{950} от величин неорганического углерода (рис. 1). В паре $C_{\text{орг}} - LOI_{550}$ наиболее высокие коэффициенты корреляции (0,88, табл. 1) обнаружены для аллювиально-луговых почв, для черноземов незасоленных значения r ниже (0,64), в засоленных образцах данная связь отсутствует ($r=0$). Необходимо учесть возможные ошибки метода при анализе $C_{\text{орг}}$ в высококарбонатных образцах и ошибки, связанные с химически связанной водой. Коэффициенты корреляции в паре значений $C_{\text{карб}} - LOI_{950}$ высоки для черноземов 0,91 и не меняются в случае наличия в образце легкорастворимых солей (ЛРС).

Более тесная наблюдалась связь между величинами $CO_2 \text{ карб.} - LOI_{950}$, в случае же оценки связи $C_{\text{орг}} - LOI_{550}$ необходимо введение поправочных коэффициентов на высокую карбонатность и наличие в почвах ЛРС. Предложенные коэффициенты корреляции могут быть основой для формирования базы данных в целях создания моделей для подсчета зависимостей между содержаниями органического и неорганического углерода и величинами потерь при прокаливании.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 23-17-00232.

Литература

1. Виноградов А.П. Органическое вещество в химии Земли. М., Наука, 1964. 315 с.
2. Борисов А.В., В. А. Демкин, М. В. Ельцов, Я. Г. Рысков. Динамика карбонатов в почвах юго-востока Русской равнины за историческое время // Аридные экосистемы, 2003, том 9, № 19-20. С. 54-64.
3. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов. 1993.
4. Нестерук Г.В. Исследование содержания органического и неорганического углерода в почвах Ростовской области с помощью различных методов // Научное приборостроение: перспективы

разработки, создания, развития и использования. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. г. Ростов-на-Дону, 2024. С. 100-104.

5. Allison, L.E., Moodie, C.D., 1965. Chapter 91 Carbonate. In: Norman, A.G. (Ed.), *Methods Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9.2. ASA, Inc., Madison, Wisconsin, pp. 1379–1396. doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c40.

6. Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology* 25, 101-110, 2001.

7. Kogut B.M., Milanovsky E.Yu., Hamaturov Sh.A., *Methods for determining the organic carbon content in soils (critical review)*, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 114, pp. 5-28, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-5-28.

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФОРМ ЖЕЛЕЗА И АЛЮМИНИЯ
В ПОЧВАХ ВЫРУБКИ (СРЕДНЯЯ ТАЙГА РЕСПУБЛИКИ КОМИ)
Паюсова И.В., Старцев В.В., Севергина Д.А., Горбач Н.М., Дымов А.А.**

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

e-mail: pajusova@ib.komisc.ru

Активная деятельность человека приводит к значительным и часто необратимым изменениям почвенного покрова. Рубки леса имеют очень широкое распространение. При этом наибольшие изменения наблюдаются при сплошных рубках, в результате которых полностью вырубается древостой и значительно изменяются свойства почв, а также условия их формирования [2]. Соответственно, они существенно отличаются от ненарушенных лесных почв по многим физико-химическим свойствам, что сказывается на процессах естественного лесовосстановления [3]. Аморфные формы железа и алюминия могут быть крайне чувствительны к изменению условий почвообразования [1]. Гидрооксид железа, как и гидрооксид алюминия, может образовывать с органическими кислотами подвижные формы комплексных соединений, способных перемещаться по профилю почвы. Поэтому, несмотря на освещение актуальных вопросов о лесовосстановлении антропогенно-нарушенных почв, остаются вопросы об изменениях фракционного состава соединений химических элементов непосредственно после влияния лесозаготовок на компоненты почвы, миграционные характеристики соединений и их изменениях в почвах [4]. Цель данной работы - оценить динамику изменения подвижных форм железа и алюминия в почвах в течение трёх лет после вырубки, с учётом разного числа проходов тяжёлой техники.

Для проведения эксперимента, весной 2020 года был подобран участок хвойно-лиственный леса на территории Сыктывдинского района Республики Коми. Согласно почвенно-географическому районированию, исследуемая территория расположена в южной части Вымь-Вычегодского округа типичных подзолистых почв, иллювиально-железистых подзолов, торфянисто-подзолисто-глеватых иллювиально-гумусовых почв. В ходе эксперимента было заложено шесть волоков. На трех волоках число проходов форвардера составило три (ЗП), на других трех волоках – десять (10П). В дальнейшем, повторный отбор почвенных образцов проводили с периодичностью один раз в месяц в течение вегетационных периодов 2021, 2022 и 2023 гг. Содержание железа несилкатных соединений оценивали методом Мера-Джексона (дитиониторастворимые формы, Fe_2O_{3dih}), а содержание железа и алюминия аморфных соединений оценивали методом Тамма (оксалаторстворимые формы, Fe_2O_{3ox} и Al_2O_{3ox}).

Исследование почв позволило выявить содержание дитионито- и оксалаторстворимых форм железа и алюминия в верхних минеральных горизонтах. В первый год после рубки на протяжении всего 2021 года наблюдается вынос различных форм железа и алюминия из верхнего минерального горизонта. Для почвы посечного участка выявлено уменьшение содержания в элювиальных горизонтах Fe_2O_{3dih} по сравнению с исходной почвой. Содержание Fe_2O_{3ox} форм железа

характеризуется близкими значениями с исходной почвой. В 2023 году данные достигают значений, полученных до рубки. Содержание оксалаторастворимого алюминия в верхнем минеральном почвенном горизонте оставалось стабильным на протяжении всего периода исследования.

Для почвы волока с тремя проходами в 2021 году наблюдается снижение содержания в элювиальных горизонтах, как Fe_2O_{3dih} так и Fe_2O_{3ox} форм железа по сравнению с почвой до рубки. Содержание оксалаторастворимого алюминия в верхнем минеральном почвенном горизонте оставалось практически стабильным на протяжении всего периода исследования. Для почв волока с десятью проходами в 2021 году наблюдается резкий рост содержания в верхних минеральных горизонтах, как Fe_2O_{3dih} так и Fe_2O_{3ox} форм железа по сравнению с почвой до рубки. В 2023 году содержание железа снизилось практически в два раза по сравнению с 2021 годом. Содержание оксалаторастворимого алюминия в верхнем минеральном почвенном горизонте изменяется скачкообразно на протяжении всего 2021 года. Однако в 2023 году содержание алюминия стабилизируется и становится близким к значениям исходной почвы.

Таким образом, в первые годы после рубки было выявлено уменьшение содержания в элювиальных горизонтах, как дитионито- так и оксалаторастворимых форм железа по сравнению с исходной почвой. Вероятно, возрастание подвижности рассматриваемых форм железа связано с увеличением влажности верхних генетических горизонтов почвы участков после рубки. Содержание оксалаторастворимого алюминия слабо дифференцировано в течение вегетационных периодов и остаётся стабильным в течение трёх лет.

Работа была выполнена в рамках РНФ № 23-74-10007 «Изменение почв и компонентов цикла углерода в ходе восстановительной сукцессии после сплошной рубки в средней тайге европейского северо-востока России».

Литература

1. Дронова Т.Я., Соколова Т.А., Толпеица И.И. Глинистые минералы в почвах / Гриф и К. Тула. 2005. С. 336.
2. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. №7. с. 787-798.
3. Катаров В.К., Сюнёв В.С., Ратькова Е.И., Герасимов Ю.Ю. Влияние форвардеров на лесные почво-грунты // Resources and Technology: научный журнал. 2012. Т.9. №2. с. 73-81.
4. Козлова А.А., Халбаев В.Л., Айсуева Т.С., Егодуров А.Е., Нечаева В.В., Мокрушина А.С., Чиркова Е.Г., Винокурова А.В. Содержание различных форм железа в почвах Южного Предбайкалья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 5-2. с. 56-61.

ВЛИЯНИЕ ПОСТАГРОГЕННОГО РАЗВИТИЯ ПОЧВ НА СОДЕРЖАНИЕ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА В ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЯХ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Самохина Н.П.^{1,2}, Филимоненко Е.А.^{1,2}, Курганова И.Н.³, Лопес де Гереню В.О.³, Зорина С.Ю.⁴, Соколова Л.Г.⁴, Дорофеев Н.В.⁴, Кузяков Я.В.⁵

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, samokhina_np@mail.ru;

²АНОО ВО «Университет «Сириус», федеральная территория «Сириус»;

³Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – ФИЦ «Пушинский научный центр биологических исследований РАН», Пушино;

⁴Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск;

⁵Гёттингенский университет имени Георга Августа, Гёттинген, Германия

Почвенное органическое вещество (ПОВ) играет существенную роль в глобальном углеродном цикле и является чувствительным к изменениям землепользования [7, 8]. Трансформация пахотных земель в залежные вносит вклад в накопление и последующую стабилизацию углерода почвах, за счет увеличения поступления растительной биомассы [3, 9]. В лесостепной

зоне постагрогенная сукцессия растительности может идти по пути восстановления как лесной растительности, так и луговой, влияя на скорость накопления почвенного углерода и соотношение фракций ПОВ. Целью исследования была оценка динамики содержания и изотопного состава углерода в денситометрических фракциях органического вещества почвы под луговой и лесной растительностью в ходе её постагрогенного развития.

Исследования проводили в Заларинском районе Иркутской области, на территории полевого стационара Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (лесостепная зона Восточной Сибири). Объекты исследования – действующая пашня, залежь возрастом 7 лет, залежь возрастом 25 лет под луговой растительностью, залежь возрастом 25 лет под лесной растительностью, суходольный луг и сосновый лес. Почва района исследования является серой среднесуглинистой (Haplic Luvisol (Siltic)), сформированной на аллювиально-делювиальных отложениях юрского периода. Почвы с шести участков отбирались в трех пространственных повторностях с глубин 0-5 и 5-10 см. Содержание органического углерода ($C_{орг}$) и изотопный состав углерода ($\delta^{13}C$) определяли в валовых пробах почв и во фракциях свободного (fPOM), окклюдированного (oPOM) и минерально-ассоциированного (MAOM) ПОВ, выделенных методом денситометрического фракционирования [2, 8]. Изотопный и элементный анализ углерода выполняли на изотопном масс-спектрометре isoprime presicION (Elementar, UK), соединенном с элементным анализатором vario ISOTOPE cube (Elementar, UK). Соотношение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}C$) выражено в тысячных долях отклонения от международного эталона (VPDB), (‰): $\delta^{13}C = \frac{R_x - R_{st}}{R_{st}} * 1000$, где R_x – отношение $^{13}C/^{12}C$ в образце X; R_{st} – $^{13}C/^{12}C$ в эталонном материале (L-valine, USGS73).

В ходе постагрогенного развития, идущего по пути восстановления лесной и луговой растительности, в почве на глубине 0-10 см содержание углерода увеличивается во всех денситометрических фракциях. Наибольшее содержание $C_{орг}$ во фракции fPOM, с учетом размера фракции в составе ПОВ, обнаружено в почве под естественным лесом (22 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы), что в 6,4 раза выше относительно $C_{орг}$ в fPOM в почве под естественным лугом (3,4 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы). В ходе постагрогенного развития содержание $C_{орг}$ в fPOM увеличилось в 2 раза в ряду от пашни (0,45 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы) к 25-летним залежным почвам с луговой (0,96 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы) и лесной (0,93 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы) растительностью.

Содержание $C_{орг}$ окклюдированной фракции (oPOM) в ходе постагрогенного развития увеличилось более, чем в 2 раза: от 6,6 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы в пахотной почве до 16 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы в залежной почве под 25-летним лугом и до 15 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы в почве под 25-летним лесом. Наибольшее содержание $C_{орг}$ фракции oPOM установлено в почве под лесом (51 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы), что превышает аналогичные значения для почвы под лугом (26 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы) в 2 раза.

Содержание углерода органо-минеральной фракции в ходе постагрогенного развития возросло в 3 раза в ряду от пашни (7,1 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы) к 25-летней залежи под лесом (23 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы) и в 2,6 раз в ряду от пашни к 25-летней залежи под лугом (19 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы). Содержание $C_{орг}$ в MAOM в почвах под естественным лесом было эквивалентно почвам под лугом (14 и 16 г $C \cdot kg^{-1}$ почвы соответственно), что в 1,7 раз ниже, чем в почвах под 25-летним лесом.

Накопление углерода легких фракций (fPOM и oPOM) при постагрогенном развитии обусловлено большей аккумуляцией растительной биомассы в залежных почвах по сравнению с пашней [7]. В лесном ценозе накопление органического вещества происходит в результате поступления растительного опада и формирования лесной подстилки [6, 7], а в луговом за счет возрастающего количества корневой биомассы [5, 7]. В ходе постагрогенного развития также происходит накопление углерода органо-минеральной фракции, причем в залежных почвах под лесной растительностью прирост $C_{орг}$ в MAOM происходит на 4% больше, чем в залежных почвах под луговой растительностью.

Обогащение углерода тяжелым изотопом ^{13}C происходит с увеличением плотности фракций ПОВ. Средние значения $\delta^{13}C$ увеличивались от -26,7 ‰ в fPOM до -25,0 ‰ в MAOM. Значения $\delta^{13}C$ уменьшились в ходе постагрогенной сукцессии в результате обогащения ПОВ легким изотопом углерода ^{12}C . В ряду от пашни к залежной почве под 25-летним лугом значения $\delta^{13}C$ уменьшаются от -25,9‰ до -26,6‰ соответственно.

Увеличение значений $\delta^{13}\text{C}$ от легких фракций ПОВ к МАОМ происходит вследствие процессов микробного разложения ПОВ. В результате микробной минерализации изотоп ^{12}C высвобождается в атмосферу в виде CO_2 и, следовательно, оставшееся ПОВ обогащается изотопом ^{13}C [1]. Кроме того, непрерывный и быстрый оборот микробной биомассы впоследствии ведет к увеличению количества некромассы [4]. Обогащенная изотопом ^{13}C некромасса стабилизируется в почве за счет ассоциации с минеральными частицами, внося существенный вклад в МАОМ [1].

Таким образом, при постагрогенном развитии почв под лесной и луговой растительностью наблюдается увеличение содержания углерода во всех денситометрических фракциях. Наиболее плотная фракция ПОВ, связанная с минеральными частицами почвы, обогащена ^{13}C по сравнению со свободным и оклюдированным РОМ.

Исследование выполнено при поддержке проекта «Устойчивость и функции почвенного углерода в агросистемах России (CarboRus)» № 075-15-2021-610, Государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № 122040500037-6) и гранта ФТ GEO-BFT-2410.

Литература

1. Gunina, A. and Kuzyakov, Y., Pathways of litter C by formation of aggregates and SOM density fractions: implications from ^{13}C natural abundance, *Soil Biol. Biochem.*, 2014, vol. 71, pp. 95–104.
2. John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use // *Geoderma*. 2005. Vol. 128 (1–2). P. 63–79. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.12.013
3. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia // *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20. № 3. pp. 938–947. DOI: 10.1111/gcb.12379
4. Liang, C., Balser, T. Microbial production of recalcitrant organic matter in global soils: implications for productivity and climate policy. *Nat Rev Microbiol* 9, 75 (2011). <https://doi.org/10.1038/nrmicro2386-c1>
5. Ермолаев А.М., Ширшова Л.Т. Влияние погодных условий и режима использования сеяного луга на продуктивность травостоя и свойства серых лесных почв // *Почвоведение*. 2000. № 2. С. 1501–1508.
6. Ерохова А.А., Макаров М.И., Моргун Е.Г., Рыжова И.М. Изменение состава органического вещества дерново-подзолистых почв в результате естественного восстановления леса на пашне // *Почвоведение*. 2014. № 11. С. 1308–1314. DOI: 10.7868/S0032180X14110045
7. Овсепян Л.А., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Русаков А.В., Кузяков Я.В. Изменение денситометрического фракционного состава органического вещества почв лесостепной зоны в процессе постагрогенной эволюции // *Почвоведение*. 2020. № 1, С. 56–68, DOI: 10.31857/S0032180X20010128
8. Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Семенов М.В., Курганова И.Н. Пулы и фракции органического углерода в почве: структура, функции и методы определения // *Почвы и окружающая среда*. 2023. Т. 6. № 1. e199. DOI: 10.31251/pos.v6i1.199.
9. Филимоненко Е.А., Упорова М.А., Арбузова Е.А., Ибраева К., Константинов А.О., Курганова И.Н., Кузяков Я.В. Конверсия пашни в залежь увеличивает стабильность органического вещества почвы // *Агрофизика*. 2023. № 3. С. 9–16. DOI: 10.25695/AGRPH.2023.03.02.

ПОСТУПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОЧВЫ С ЛЕСНЫМ ОПАДОМ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ

Сапронов Д.В.

Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» – Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290 Пушкино, Московская обл. ул. Институтская 2, sadmvas@gmail.com

Опад и последующая трансформация отмершего органического вещества растений являются важным звеном в круговороте вещества и энергии, стоящим между живой растительной

биомассой и почвой. Опад формирует на поверхности почвы органогенный горизонт – лесную подстилку, способствует развитию процессов лесного почвообразования и является фактором формирования лесных почв. Свойства верхних горизонтов и гумусное состояние почв связаны с лесным опадом.

Рабочей гипотезой исследования было предположение о том, что в южной части Московской области вне периода осеннего листопада происходит весомое поступление биомассы древесных растений на поверхность почвы.

Целью работы было изучить динамику поступления опада на поверхность почвы в течение полного годового цикла и оценить общее количество лесного опада, поступающего на поверхность почвы.

Исследования проводили в южной части Московской области: в окрестностях г. Пущино (54°20'N, 37°37'E) и на территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника (54°50'N, 37°35'E).

Пробы опада отбирали в 4-х кратной повторности, ежемесячно в течение шести лет, с использованием подвесных опадауловителей. Площадки для отбора располагались в лиственном лесу на серой лесной почве (Haplic Luvisol (siltic)) и в смешанном лесу на дерново-слабоподзолистой почве (Entic Podzol (Arenic)). Основными лесообразующими породами лиственного леса являются осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) и берёза повислая (*Betula pendula* Roth.), средний возраст деревьев около 70 лет. Смешанный лес представлен осиной обыкновенной (*Populus tremula* L.), липой сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), елью обыкновенной (*Picea abies* L.), дубом черешчатым (*Quercus robur* L.), возраст деревьев 50-100 лет и более.

Опадауловитель (ловушка) представляет собой металлический каркас 50x50 см и мешок из рыхлой ткани. Глубина мешка составляет 50 см. Ловушки крепили за стволы деревьев на высоте примерно 70 см от поверхности почвы. После изъятия опад разбирали на фракции (листва, хвоя, древесные части, почки, крылатки, цветоносы и неопределяемые остатки), затем высушивали и взвешивали. Также во фракциях опада определяли содержание С и N.

Было выявлено, что поступление опада в обоих типа леса происходит в течение всего года и имеет два максимума. Наибольшее количество отмершей биомассы поступает с опадом листвы во время осеннего листопада (сентябрь-октябрь). В это время на почву поступает до 400 г/м². В течение первых двух осенних месяцев, в среднем за пять лет опадает основная масса листвы и масса опада достигает 60% от общего годового поступления. Второй максимум приходится на начало вегетации растений и связан с опадом цветоносов и почечных чешуй. Количественно он значительно меньше осеннего – до 150 г/м² опада. Всего за год (среднее за пять лет) на поверхность почвы поступает в смешанном лесу порядка 517 г/м² опада, а в лиственном лесу до 610 г/м². Стоит отметить, что в лиственном лесу к середине лета началу осени опад на поверхности почвы практически отсутствует, что свидетельствует о высокой скорости минерализации. Разложение опада в смешанном лесу протекает медленнее, что определяется, вероятно, наличием хвойного опада, и в результате на поверхности почвы формируется подстилка массой 270-370 г С/м².

Основную массу опада в обоих ценозах составляет листва около 46% в смешанном и до 70% в лиственном лесу от общего годового опада. Вероятно, поэтому лиственный лес характеризовался большей величиной опада, но различия были не всегда достоверны. Далее идут древесные части – 20%, хвоя около 20% и почки, составляя до 7%.

Установлено, что циклической динамикой характеризуется опад листвы, почек и почечных чешуй, хвоя, крылатки клёна. Такие составляющие опада, как древесные части или шишки не имеют чёткой циклической динамики, и их опадание скорее связано с погодными явлениями, например, с сильными ветрами.

В заключении можно отметить, что поступление опада в исследованных лесных ценозах происходит непрерывно в течение года. В связи с этим, для оценки величины поступления углерода на поверхность почвы с древесным опадом крайне важно изучать внутри годовую динамику, на её основе оценивать суммарное годовое количество опада и определять межгодовое

варьирование. Особое внимание необходимо уделять весеннему (тёплому) периоду, когда опадают мелкие и легкоразлагаемые фракции отмерших частей растений, которые легко потерять при учёте. Основную массу опада в изученных ценозах составляют листья, но наличие фракций трудно разлагаемого опада (одревесневшие части, кора, хвоя) способствует формированию постоянного горизонта лесной подстилки. Это свидетельствует о разных скоростях минерализации фракций опада.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН рег. № 122040500037-6

ПУЛОВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО КОНТИНУУМА ПОЧВЫ

Семенов В.М.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН», 142290, Россия, Московская область, Пущино, ул. Институтская, 2. E-mail: v.m.semenov@mail.ru

Почвенное органическое вещество (SOM) представляет собой континуум множества свободных и связанных, нативных и трансформированных веществ и биомолекул разного размера, химического состава, происхождения и возраста, распределенных в конгломерате минеральных частиц. Континуумная модель наиболее точно, полно и адекватно отражает гетерогенность, многокомпонентность, полифункциональность, стабильность, динамичность и оборачиваемость SOM. Органический континуум почвы (SOC) слагают отмершие растительные остатки размером 10–2 мм, твердые органические частицы (POM, 2–0.053 мм), минерально-ассоциированное органическое вещество (MAOM, <0.053 мм), растворенное органическое вещество (DOM, <0.45 мкм), свободные биомолекулы, ансамбли гуминовых веществ и обугленные материалы. Все эти компоненты SOC находятся в непрерывном обновлении, разложении, стабилизации и дестабилизации. Указанные размеры частиц и веществ используются в качестве основного признака при фракционировании SOM. Растительные остатки локализованы в мегаагрегатах, POM, включая обугленные вещества – в макро-, микроагрегатах и фракции песка, DOM, содержащее свободные биомолекулы и гуминовые вещества – в поросфере почвы, а MAOM, обогащенное гуминовыми веществами – во фракциях пыли и глины.

Био-физико-химическое подразделение на пулы является распространенным и эффективным способом определения разных характеристик SOC, в том числе качества SOM, оцениваемого по соотношению разных пулов и фракций. Под пулом понимается концептуально сгруппированная по каким-либо основным признакам или функциям часть SOM. В одном и том же пуле могут присутствовать разные по происхождению, химическому составу и свойствам органические компоненты почвы. В зависимости от цели исследования и используемых способов фракционирования выделяют структурные и процессные, биологически активные и стабильные, химически окисляемые и инертные, термолабильные и термоустойчивые пулы, а также группу функциональных пулов.

К структурным пулам отнесены POM и MAOM, выделяемые гранулометрическим фракционированием. Эти пулы придают SOM целостность, отражают его автохтонность, обеспечивают сохранность Сорг, выполняют депонирующую, агрегирующую, протекторную и другие функции. POM образуется из растительных остатков, подвергающихся в почве фрагментации, разложению и окклюдированию, а MAOM формируется из растворенного углерода растительных остатков и микробной некромассы, которые сорбируются минеральными частицами почвы. В гумусовых горизонтах зональных и интразональных почв Европейской части России в пуле POM содержится 13-50% от общего Сорг, а в пуле MAOM – 50-84% от Сорг (в среднем 29 ± 11 и $69 \pm 11\%$ от Сорг соответственно). Пахотные почвы обеднены POM и MAOM в 2.4 и 1.3 соответственно. Чем меньше гранулометрический индекс стабильности ($GSI=C-POM/C-MAOM$),

тем стабильнее SOM. В среднем для разных почв GSI равняется 0.46 ± 0.25 . Органическое вещество в черноземе стабильнее, чем в серой лесной и дерново-подзолистой почвах, а в пахотных почвах, чем в необрабатываемых.

Углерод потенциально-минерализуемого органического вещества (СРМ) и микробной биомассы (Смик) предложено считать процессными пулами SOC. Эти пулы обеспечивают реактивность, трансформируемость и биоактивность SOM, ответственны за его физиологические, рециклирующие, эмиссионные и другие функции. Содержание СРМ в почвах разного землепользования варьирует от 1.9 до 10.1% от Сорг. В пахотных почвах без дополнительного внесения органических удобрений содержится в 1.71 раз меньше СРМ по сравнению с необрабатываемыми аналогами. Чем шире отношение устойчивого к минерализации пула органического вещества к потенциально-минерализуемому пулу (биологический индекс стабильности, BSI), тем больше в почве защищенного от разложения органического вещества. В зависимости от типа почвы, землепользования и удобрительной нагрузки BSI варьирует от 9 до 52. Органическое вещество в черноземе характеризуется самым высоким BSI и, следовательно, сильнее защищено, чем в дерново-подзолистой и серой лесной почвах.

Многочасовая обработка почвы раствором перекиси водорода позволяет выделить химически неокисляемый (инертный) и окисляемый (реактивный) пулы SOM, соотношение которых представляет собой химический индекс стабильности (CSI). Во всех исследуемых почвах преобладало химически окисляемое органическое вещество, а в химически инертном пуле находилось в среднем $20 \pm 11\%$ от Сорг. Наибольшая доля химически инертного органического вещества (до 34-54% от Сорг) обнаружена в солонце и в каштановой солонцеватой почве. Значения CSI варьировали от 0.09 до 1.19, составляя в среднем 0.28 ± 0.24 . В залежных и целинных почвах содержалось больше инертного органического вещества, чем в пахотных (CSI 0.23 и 0.16 соответственно).

Чем больше тепловой энергии расходуется на термодеструкцию ПОВ, тем оно стабильнее. С помощью термогравиметрического анализа органическое вещество ряда почв было подразделено на термически лабильный ($<390-400^\circ\text{C}$) и термически стабильный ($>390-400^\circ\text{C}$) пулы. На термолабильный пул (Стл) приходилось 32-60% Сорг, а на термостабильный пул (Стс) – 40-68%. Индекс термоустойчивости ($\text{TSI} = \text{Стл}/\text{Стс}$) равен 0.73 ± 0.28 . Предполагается, что термической деструкции подвергается больше органического вещества, чем реально способного к обороту, а ПОВ более термогетерогенно, чем это вытекает из подразделения на термолабильный и термостабильный пулы.

Концептуальное подразделение ПОВ по времени оборачиваемости углерода на функциональные пулы (активный, медленный, пассивный) хорошо согласуется с моделью органического континуума почвы. К активному, медленному (промежуточному) и пассивному пулам отнесены органические вещества со временем существования менее 10, 10-100 и свыше 100 лет соответственно. Предложено активный пул ПОВ соотносить с потенциально-минерализуемым пулом, пассивный – с химически инертным пулом, а размеры медленного (промежуточного) пула устанавливать по разнице между общим Сорг и суммой активного и пассивного пулов. Три функциональных пула включают в себе одновременно структурные, процессные, химически окисляемые и инертные, термолабильные и термостабильные пулы. В гумусовых горизонтах разных типов почв преобладающая часть Сорг сосредоточена в медленном (промежуточном) пуле (в среднем $75 \pm 11\%$).

Содержание углерода в структурных, процессных и в других пулах SOC коррелировало с Сорг. В то же время не было достоверной связи между индексами GSI, BSI, CSI, TSI, потому что стабильность SOM формируется большим числом процессов внутри органического континуума почвы, а разные индексы стабильности характеризуют только специфические механизмы стабилизации. Подчеркивается, что определение размеров и соотношений углеродных пулов в почве должно стать обязательным этапом в мониторинге потоков углерода в наземных экосистемах.

Работа выполнена в рамках реализации ВИП ГЗ, № 123030300031-6 и Госзадания, № 122040500037-6.

ДИНАМИКА БИОПРОДУКТИВНОСТИ ЛАНДШАФТОВ И ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Снакин В.В.^{1,2}, Присяжная А.А.¹

¹Институт фундаментальных проблем биологии РАН, alla_pris@rambler.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова (Музей землеведения), snakin@mail.ru

Характерной особенностью природных процессов является их неустойчивость и постоянная изменчивость. Циклично изменяются температура и степень увлажнения, концентрации углекислого газа, метана и других компонентов атмосферы. В соответствии с этим изменяются продуктивность сообществ и направление почвенных процессов, смещается граница природных зон.

Наблюдаемые в последние десятилетия тенденции глобального потепления климата вызывают озабоченность мирового сообщества (особенно политиков и журналистов) возможными негативными последствиями таких изменений, в частности, ростом засушливости регионов и, соответственно, угрозой сельскому хозяйству, таянием ледников и вечной мерзлоты, подъёмом уровня Мирового океана и прочими явлениями катастрофического характера. Однако насколько обоснованы эти опасения? В состоянии ли человечество предотвратить негативное развитие природных процессов? Или, напротив, своими действиями усугубляет экологическую ситуацию?

Ответы на эти вопросы зависят от надежности наших знаний о механизмах глобальных изменений климата и от реальности оценки антропогенного фактора в глобальных природных процессах.

В международном научном сообществе и особенно в кругах т. н. «зелёного движения» преобладает по многим позициям противоречащая научным данным гипотеза о преобладающем влиянии деятельности человека на современное потепление климата вследствие антропогенного вклада в так называемый парниковый эффект за счет промышленных выбросов в атмосферу парниковых газов и прежде всего углекислого газа и метана. Однако наряду с этой, доминирующей в международных соглашениях, в частности, в Парижском соглашении по климату (1985) гипотезой имеют место более обоснованные предположения о космической природе глобального потепления, рассмотренные, в частности, в работах [7–9 и др.].

Проведенная нами оценка показала, что возможный вклад антропогенной составляющей в парниковый эффект за счет роста концентрации CO_2 составляет менее 1%. В то же время элементарный расчет физико-химического равновесия в системе Мировой океан–атмосфера показывает, что при повышении температуры только на 2°C (от 14 до 16°) растворимость углекислого газа уменьшается более чем на 6 %. Это означает, что при потеплении из природных вод может выделиться огромное количество углекислого газа. Учитывая, что подавляющая часть углекислого газа биосферы (>90 %) находится в растворённом виде в водах Мирового океана, такое количество CO_2 , выделившегося при потеплении природных вод только на 2 градуса, способно почти удвоить его концентрацию в атмосфере! [7].

Таким образом, природные воды, прежде всего Мировой океан, являются регулятором концентрации CO_2 в атмосфере. Именно благодаря этому рост концентрации углекислого газа в атмосфере является не первопричиной, а следствием глобального потепления.

Наблюдающееся современное потепление климата и соответствующее повышение концентрации углекислого газа в атмосфере, как важнейшего фактора фотосинтеза, с неизбежностью вызывает в районах с достаточным увлажнением рост биопродуктивности ландшафтов и соответствующий рост урожайности сельскохозяйственных культур. Обоснование этого роста, максимально проявляющееся у C_3 -растений, представлено в работе [1]. Реальный материал о росте урожайности с.-х. культур в России даже на фоне сокращения использования минеральных удобрений с убедительностью показал в своем сообщении чл.-корр. РАН В.Н. Кудеяров [6].

Изменение климата, рост продукционного процесса неизбежно ведут к изменению процессов почвообразования и соответствующему сдвигу границы почвенных зон, несмотря на их природную буферность [2, 3, 5].

Важно отметить наличие природных факторов, регулирующих последствия климатических изменений. За миллиарды лет своего развития биосфера Земли выработала вполне надёжные механизмы защиты от различного рода изменений и даже катаклизмов, имеющих, как пра-

вило, циклический характер. В случае с углекислым газом имеет место обратная связь, компенсирующая растущую его концентрацию в атмосфере за счет дополнительного поглощения в результате увеличивающейся биопродуктивности ландшафтов. С наступлением очередного периода похолодания концентрация углекислого газа уменьшится в соответствии законами физико-химического равновесия в системе атмосфера – Мировой океан.

В целом наиболее вероятной причиной глобального потепления являются факторы космической природы, а среди антропогенных факторов практически не оценённое в рассматриваемом отношении тепловое загрязнение (температура в населенных пунктах на 2–3 градуса выше, чем в окружающей среде). Еще раз отметим, что рост концентрации углекислого газа в атмосфере, как и метана, вызван потеплением, т. е. является вторичным фактором. Поэтому так называемая низкоуглеродная, «зелёная» экономика не может решить проблему глобального потепления, но даже может рассматриваться как противодействие основам функционирования биосферы, ибо направлена на снижение её биопродукционного потенциала.

Литература

1. *Акатов П. В.* Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере // Живые и биокосные системы. 2013. №5 (<http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-14>)
2. *Акатов П.В.* Глобальное потепление и его региональные последствия для Европейской части России // Живые и биокосные системы. 2016. № 15 (<http://www.jbks.ru/archive/issue-15/article-2>)
3. *Волокитин М.П.* Изменения в процессах почвообразования при глобальном изменении климата // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2019. № 10 (67). С. 15–19.
4. *Карпачевский Л.О.* Роль растений и глобальных изменений климата в эволюции почв // Почвоведение. 1993. №9. С. 20–26.
5. *Красильников П.В.* Почвы и глобальные изменения климата 2023 // Лекция, приуроченная к Международному Дню почв (<https://soil.msu.ru/o-fakultete/pochvy-ekologiya-i-my/4307-pochvy-i-globalnye-izmeneniya-klimata>)
6. *Кудяров В.Н.* Особенности биогеохимических циклов основных биофильных элементов в земледелии России // Доклад на объединенном Ученом совете ФИЦ ПНЦБИ РАН о динамике урожайности с.-х. культур 23.04.2024.
7. *Снакин В.В.* Низкоуглеродная энергетика и глобальное потепление климата // *Жизнь Земли*, 2024. Т. 46, № 1. – С. 4–19. DOI: 10.29003/m3770.0514-7468.2024_46_1/4-19
8. *Фёдоров В.М., Алтунин И.В., Фролов Д.М.* Влияние диоксида углерода антропогенного генезиса на термический режим атмосферы и его изменения // *Жизнь Земли*. 2022. Т. 44, № 4. С. 402–414. DOI: 10.29003/m3115.0514-7468.2022_44_4/402-414.
9. *Цегельский В.Г.* Мифы Парижского соглашения по климату // *Жизнь Земли*. 2023. Т. 45, № 4. С. 540–555. DOI: 10.29003/m3535.0514-7468.2019_45_4/540-555.

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ МИКРОБНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АЗОТА В ПОЧВАХ КАК ИСТОЧНИК ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Степанов А.Л., Сошникова Е.А., Манучарова Н.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Ленинские горы 1/12, Москва, 119234. E-mail: stepanov_aleksey@mail.ru

На протяжении последних лет открыты новые организмы и процессы микробной трансформации азота. Информация о распространении новых организмов цикла азота в почвах (таумархеот) и интенсивности протекания новых процессов - анаэробного окисления аммония (anammox) или одностадийной нитрификации (comammox) в почвах, пока очень ограничена. Особое внимание уделяется изучению нитрифицирующих архей в дерново-подзолистой и серой лесной почвах с определением их вклада в образование закиси азота – одного из парниковых газов. Оценка вклада таумархеот в газообразные потери азота в форме закиси азота в дерново-

подзолистой почве показала, что закись азота обнаруживается только в микрокосмах с аммонием и ацетиленом (10 Pa), т.е. детектируется только архейная нитрификация. В образцах с аммонием без ацетилена (ожидалось проявление активности аммонийоокисляющих бактерий) образование закиси азота за период эксперимента не обнаружено. В контрольной почве (без добавления аммония) в присутствии ацетилена (10Pa) закись азота также не выделялась: в этих условиях автотрофная нитрификация ингибируется, а денитрификаторы не развиваются за непродолжительный промежуток времени эксперимента из-за отсутствия достаточного количества нитратов. Результаты амплификации гена amoA архей и бактерий свидетельствуют о доминировании архейных генов над бактериальными в почвах ненарушенных экосистем по сравнению с агроценозами с относительно высокими показателями обилия и активности аммонийоокисляющих бактерий. По разности между активностью денитрификации в контроле и выделением закиси азота после внесения аммония и ингибирования активности аммонийоокисляющих бактерий ацетиленом (10 Pa), была осуществлена оценка вклада аммонийоокисляющих архей в образование закиси азота, что составило 20—25% от общего потока закиси азота из исследованных почв. В работе рассматриваются процессы биологической трансформации азота в почвах с учетом гетерогенности почв как среды микробного обитания, функционирования бактерий в адсорбированном состоянии, высокой концентрации микробных клеток и присутствия корней растений. Подробно излагаются новые данные о физиологии и экологии микроорганизмов цикла азота. Даются оценки разнообразия микроорганизмов круговорота азота и их участия в глобальных биосферных процессах, роли микроорганизмов в обеспечении почвенного плодородия, а также об их практическом использовании в современной биотехнологии.

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ РАЗНОГО КАЧЕСТВА НА МИНЕРАЛИЗУЕМЫЙ ПУЛ ПОЧВЫ

Тулина А.С.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения ФИЦ ПНЦБИ РАН,
142290, Россия, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, корп. 2

E-mail: atulina@yandex.ru

Эмиссия диоксида углерода (CO_2) из почвы зависит от скорости минерализации, на которую влияет температура, влажность и поступление в почву растительных остатков (РО). Существующие исследования, в основном, уделяют внимание прямому действию этих факторов, а их отдаленное по времени действие (последействие) остается недостаточно изученным, что затрудняет прогнозирование последствий климатических изменений. Целью работы было изучить последействие температуры, влажности и внесения РО разного качества на показатели минерализуемого пула трех пахотных почв по данным повторной инкубации ранее проинкубированных образцов.

Проведена повторная инкубация образцов серой лесной почвы, чернозема оподзоленного и темно-каштановой почвы, ранее проинкубированных в течение 150 суток при разной температуре (8, 18 и 28°C) и влажности (10, 25 и 40 вес. %) без РО, с пшеничной соломой и с высушенной зеленой массой редьки (ВЗМР). Свойства почв и значительная часть результатов основной инкубации описаны в работе [2]. С РО было внесено одинаковое количество общего азота ($N_{\text{общ}}$), при этом с ВЗМР в почву поступало вчетверо меньше общего органического углерода ($C_{\text{орг}}$), втрое больше растворимого углерода (C_p) и в пятьдесят раз больше минерального азота ($N_{\text{мин}}$). Повторная инкубация включала реинкубацию 1 (150 суток), промежуточную инкубацию (180 суток) и реинкубацию 2 (150 суток), которые были проведены при одинаковых условиях: температуре 22°C и 25%-м увлажнении. Минерализуемый пул по данным первой ($C_{\text{пм1}}$) и второй реинкубации ($C_{\text{пм2}}$) оценен биокинетическим методом [1].

Выявлено значительное последействие условий основной инкубации на минерализацию в ходе повторной инкубации, что объясняется изменением пулов углерода и азота в почве. Усиление минерализации при повышении температуры и влажности привело к значительной убыли

Таблица 1. Кратность ускорения (↑) или замедления (↓) минерализации в результате прямого действия (основная инкубация) и последействия (реинкубация 1 и 2) изучаемых факторов. Среднее для трех почв

Инкубация, суток с начала эксперимента	Температура (8-28°C)	Влажность (10-40 вес. %)	ВЗМР (950 мгС/кг)	Солома (4050 мгС/кг)
Основная, 0-150	(↑) 2.4	(↑) 1.6	(↑) 2.5	(↑) 4.5
Реинкубация 1, 151-300	(↓) 1.6	(↓) 1.3	(↓) 1.2	(↑) 1.8
Реинкубация 2, 481-630	(↓) 1.4	(↓) 1.1	(↓) 1.1	(↑) 1.5

$C_{орг}$ в почвах к окончанию основной инкубации, тогда как содержание $N_{общ}$ изменялось незначительно. Через 150 суток в почвах с соломой оставалось больше $C_{орг}$ и $N_{общ}$, а в почвах с ВЗМР – больше $N_{общ}$, чем содержалось в исходных почвах. Накоплению $N_{мин}$ способствовало повышение температуры, его иммобилизации – внесение соломы, а увеличение увлажнения приводило к убыли C_p . При максимальной температуре и увлажнении основной инкубации C_p редьки минерализовался полностью, а C_p соломы уменьшался вдвое.

Если прямое действие повышения температуры и влажности заключалось в ускорении минерализации, то последействие – в ее замедлении (табл. 1). Полученные данные согласуются с мнением о том, что при наличии условий, способствующих интенсификации минерализационных процессов, следует ожидать уменьшения пула доступного субстрата в почве и последующего снижения скорости минерализации [3], следовательно, усиление минерализации органического вещества в почве на начальных этапах потепления климата может способствовать его стабилизации и уменьшению эмиссии CO_2 из почвы в атмосферу в последующем.

Редька в течение основной инкубации минерализовалась с весьма высокой скоростью, провоцируя дополнительную минерализацию органических соединений углерода и азота почвы, а последействие ее внесения заключалось в уменьшении минерализуемого пула. Солома в течение основной инкубации минерализовалась гораздо медленнее редьки, и продолжала минерализоваться в ходе повторной инкубации. Так, при наименее благоприятных условиях основной инкубации минерализация соломы составила 18%, а за 480 суток повторной она достигала 53%, а при наиболее благоприятных условиях – увеличивалась с 81 до 88% от внесенного количества. В вариантах с соломой пулы $C_{пм1}$ и $C_{пм2}$ были больше, чем в почвах без РО.

Последействие температуры, влажности и внесения РО как на размер минерализуемого пула, так и на среднее время его оборачиваемости было менее значительным, чем прямое действие (рис. 1). Пул $C_{пм1}$ оказался больше и «быстрее», чем пул $C_{пм2}$. Увеличение времени инкубации способствовало стабилизации почвенного органического вещества, что проявилось в снижении его средней минерализуемости с 5.5% ($C_{пм1}$) до 1.6% ($C_{пм2}$) от $C_{орг}$, и сглаживанию различий, вызванных последействием изученных факторов. В течение как основной, так и повторной инкубации на минерализацию больше влияли изученные факторы, чем содержание $C_{орг}$ в почвах.

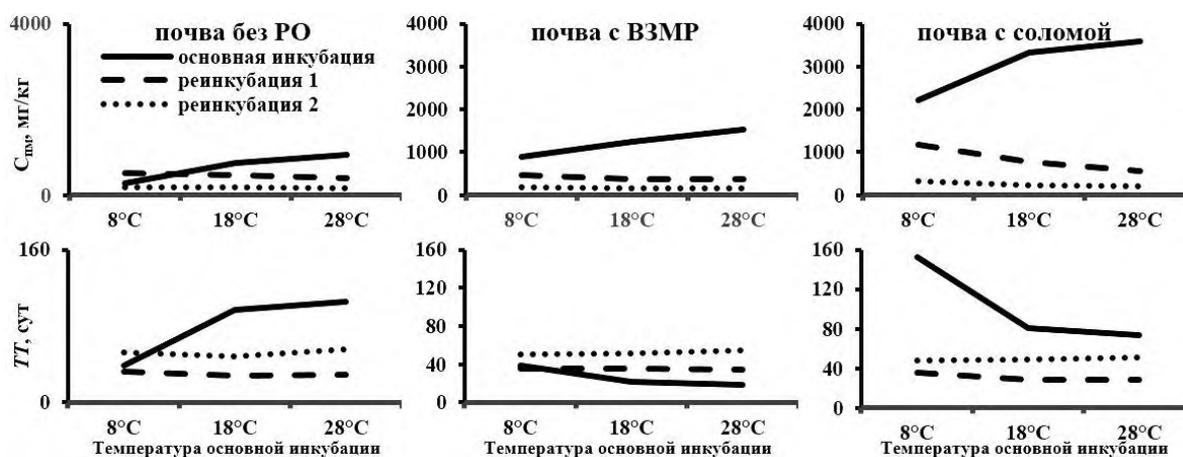


Рис. 1. Прямое действие температуры основной инкубации и ее последействие (реинкубация 1 и 2) на размер потенциально-минерализуемого пула ($C_{пм}$) и среднее время его оборачиваемости (TT , сут = $1/k$, где k – константа скорости минерализации, сут⁻¹) в почвах с РО и без. Среднее для трех почв и трех уровней увлажнения.

Содержание $C_{\text{орг}}$ и $N_{\text{общ}}$ в почвах было определено на CHNS-анализаторе Центра Коллективного Пользования ИФХиБПП ФИЦ ПНЦБИ РАН.

Работа выполнена в рамках реализации Госзадания рег. № 122040500037-6.

Литература

1. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С. Минерализуемость органического вещества и секвестрирующая емкость почв зонального ряда // Почвоведение. 2008. № 7. С. 819–832.
2. Тулина А.С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота // Агрoхимия. 2019. № 3. С. 3–18. DOI: 10.1134/S0002188119030141.
3. Kirschbaum M.U.F. The temperature dependence of organic matter decomposition – still a topic of debate // Soil Biol. Biochem. 2006. V. 38. P. 2510–2518. DOI:10.1016/j.soilbio.2006.01.030.

ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ ТРАДИЦИОННОЙ И НУЛЕВОЙ ОБРАБОТКАХ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Филимоненко Е.А.¹, Сушко С.В.², Соколов Д.А.², Дворников Ю.А.^{2,3}, Иващенко К.В.²

¹ Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6
eafilimonenko@mail.ru

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, Пущино,
ул. Институтская, 2

³ Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

В последние два десятилетия в черноземной зоне России активно развивается технология нулевой обработки почвы, являющейся весьма перспективной с точки зрения восстановления и сохранения почвенных запасов органического вещества (ОВ) [1]. Однако углерод-секвестрирующий потенциал почв в условиях данной технологии изучен недостаточно и, особенно, для различных биоклиматических зон. Способность почвы устойчиво накапливать и сохранять ОВ зависит от механизмов его физико-химической и биохимической стабилизации. Поэтому для оценки углерод-секвестрирующего потенциала важно оценивать не только изменение запасов ОВ, но и учитывать соотношение его лабильных и стабильных пулов. Считается, что чем выше температура, необходимая для окисления ОВ, тем выше его устойчивость к биодеструкции [2]. Данный принцип лежит в основе термогравиметрического фракционирования ОВ почв, позволяющего выделить его термически лабильный (окисление при 200–400 °С), стабильный (400–460 °С), устойчивый (460–540 °С) и сверхустойчивый (540–600 °С) пулы [3]. Кроме того, термическую стабильности ОВ также характеризует температура, при которой сгорает половина его массы от исходного уровня (T_{50}). Наше исследование было сфокусировано на оценке влияния нулевой обработки агрочерноземов тяжелосуглинистых и глинистых на содержание и термическую стабильность их ОВ. Для исследования было выбрано три сельскохозяйственных поля на территории частных агрохозяйств Ростовской обл. (47.51–47.53° с.ш.; 38.97–39.00° в.д.): одно – с традиционной отвальной вспашкой (33 га), два других – с нулевой обработкой в течение 11-ти и 14-ти лет (55 и 14 га). До применения нулевой обработки на исследуемой территории применялась традиционная вспашка. На каждом поле было выбрано по 30 точек исследования с учетом варьирования морфометрических характеристик рельефа. В ноябре 2023 года в каждой точке исследования были отобраны почвенные образцы с глубины 0–10 см. В данной работе рассматривали только приповерхностный слой агрочерноземов, поскольку именно в нем отмечаются значимые изменения при использовании технологии нулевой обработки [1]. Отобранную почву (всего 90 образцов) высушивали до воздушно-сухого состояния, просеивали через сито 2 мм для удаления крупных включений (корни, камни) и растирали в порошок для последующего использования в анализе. Термическую стабильность ОВ почв оценивали с помощью синхрон-

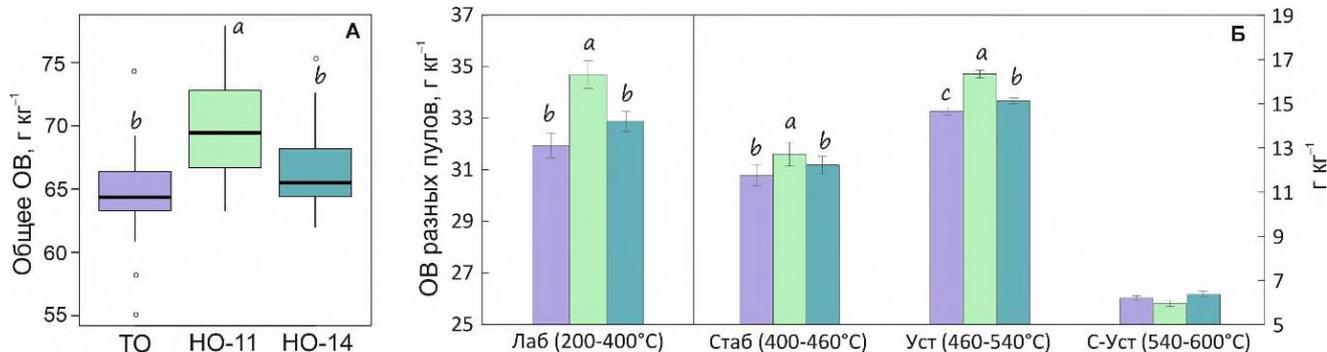


Рис. 1. Содержание органического вещества (ОВ) в общей навеске агрочерноземов (А) и его разных термических пулах (Б) для верхнего 10-ти см слоя при традиционной обработке (ТО) и нулевой в течение 11 и 14 лет (НО-11, НО-14). Значения с разными буквами различаются значимо при $p < 0.05$ (тест Тьюки, $n = 30$)

ного метода термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (ТГ-ДСК) с равномерным нагреванием образцов со скоростью 10 °С/мин от 30 до 600 °С в окислительной атмосфере на приборе TGA/DSC 3+ (Mettler Toledo, Германия). На основании пиков на ТГ и ДСК кривых выделяли термически лабильный, стабильный, устойчивый и сверхустойчивый пулы ОВ, температурный диапазон которых приведен выше. Общее содержание ОВ в почве оценивали по суммарной потере массы образца в интервале 200-600 °С.

Общее содержание ОВ в верхнем 10-ти см слое агрочерноземов возрастало при переходе от традиционной обработки к нулевой (Рис. 1 А). В среднем его величина составила 64.5, 69.7 и 66.7 г кг⁻¹ для вспашки, нулевой обработки 11-ти и 14-ти лет соответственно. Независимо от применяемой агротехнологии наибольший вклад в величину ОВ вносил термически лабильный пул (50%), затем стабильный и устойчивый (18% и 23%) и наименьший – сверхустойчивый (9%). В среднем содержание лабильного, стабильного и устойчивого пулов ОВ увеличивалось от вспашки к нулевой обработке почвы, объясняя суммарное изменение ОВ (Рис. 1 Б). В то же время содержание сверхустойчивого пула ОВ оказалось наименее изменчивым при разных обработках почвы. Значение T_{50} составило в среднем 402 °С, не различаясь значимо между технологиями обработки почвы ($p = 0.56$ для one-way ANOVA). Таким образом, переход от традиционной обработки почвы к нулевой приводит к увеличению общего содержания ОВ в верхнем 10-ти см слое агрочерноземов, за счет пропорционального увеличения в нем термически лабильных, стабильных и устойчивых пулов. При этом общая термическая стабильность ОВ значимо не меняется.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10079, <https://rscf.ru/project/24-76-10079/>

Литература

1. Иващенко К.В., Сушко С.В., Дворников Ю.А., Мирный Л.А., Орлова Л.В., Ананьева Н.Д., Непримерова С.В., Юдина А.В., Троц Н.М. Запасы почвенного органического углерода при нулевой обработке почвы в условиях Среднего Поволжья // *Агрехимия*. 2023. — № 12. — С. 47—56.
2. Plante A.F., Fernández J.M., Haddix M.L., Steinweg J.M., Conant R.T. Biological, chemical and thermal indices of soil organic matter stability in four grassland soils / *Soil Biol. Biochem.* 2011. - № 43. P. 1051–1058.
3. Filimonenko E.A., Uporova M.A., Arbutova E.A., Konstantinov A.O., Kurganova I.N., Kuzyakov Y.V. Thermal Stability of Soil Organic Matter in Postagrogenic Luvic Phaeozems / *Eurasian Soil Sci.* 2023. - №56. – P. S139–S146.

ЗАПАСЫ БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ ПОД И РЯДОМ С ВАЛЕЖОМ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО

Ханина Л.Г.¹, Бобровский М.В.^{1,2}, Смирнов В.Э.^{1,3}

¹Институт математических проблем биологии РАН -
филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук,
142290, Россия, г. Пушкино, ул. Проф. Виткевича, д. 1, e-mail: khanina.larisa@gmail.com

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное
подразделение ФИЦ ПНЦБИ Российской Академии наук,
142290, Россия, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, e-mail: maxim.bobrovsky@gmail.com

³Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук,
117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр. 14, e-mail: vesmirnov@gmail.com

Оценки вкладов валежа в циклы биофильных элементов, баланс углерода, динамику органического вещества почвы весьма противоречивы [2–7], что связано, как правило, с разнообразием типов почв и различным составом лесных сообществ. Целью исследования являлась оценка изменения запасов биофильных элементов (С, N, P, K) в минеральном горизонте суглинистых почв под валежом дуба черешчатого (*Quercus robur*).

Полевые исследования проводили в 2022 и 2023 гг. в широколиственных лесах заповедника «Калужские засеки» на участке старовозрастного леса, расположенного на покровных лёссовидных суглинках (62 квартал Южного участка заповедника, бывш. 8 кв. Ягодненского лесничества). Почвенный покров представлен сочетаниями дерново-подзолистых и серых почв (Дп-С) и темногумусовыми почвами (Тг). Почвенные образцы брали под лежащими стволами дуба второй и третьей стадий разложения [3] и рядом со стволами (на расстоянии 50-70 см). Всего отобрано 20 образцов из верхнего слоя горизонта А (0–5 см); по пять пар для почв каждого типа. Для определения плотности почвы образцы отбирали в почвенный бюкс (объемом 70 см³) с крышкой без нарушения структуры; мощность горизонта А определяли в прикопках под стволом и с помощью почвенного бура рядом со стволом. В ЦКП ИФХиБПП РАН, ПНЦБИ РАН, для каждого образца были определены содержания углерода (С%) и азота (N%) на CHNS-анализаторе Vario EL Cube, Elementar Analysensysteme GmbH и содержания подвижных форм фосфора и калия (P₂O₅ и K₂O, фотометрически, по Кирсанову). Запасы элементов в минеральной почве (С и N валовые; P и K подвижные) оценивали путем умножения доли каждого элемента на объемную плотность образца и на мощность горизонта А. Массовые доли подвижных P и K рассчитывали через их оксиды путем умножения содержания оксидов в вытяжке на массовые доли элементов (0.44 и 0.83, соответственно) [1]. Статистический анализ выполняли в среде R.

Участки с разными почвами значимо различались по всем анализируемым характеристикам за исключением объемной плотности, которая в среднем составила 0.761 ± 0.03 г/см³ (здесь и далее указана стандартная ошибка). Тг значимо (от 1.4 до 2.4 раза) превышали Дп-С по содержанию С, N, подвижных форм К и Р. Средняя мощность горизонта А в Тг была почти в 3 раза выше, чем в Дп-С (44 ± 0.6 против 15 ± 0.9 см), соответственно запасы всех анализируемых элементов были в Тг выше, чем в Дп-С в 4–7 раз; они составили 164 ± 15.3 т С/га, 14 ± 1.4 т N/га, 433 ± 54 кг К/га и 131 ± 31 кг Р/га.

При анализе полной выборки для всех участков содержания С и N были значимо меньше под бревнами, чем рядом с ними. Однако эффект был небольшой и наблюдался только при учете блокирующего фактора «номер ствола». Это объяснялось высокой гетерогенностью исследуемых участков, которую мы оценивали через номера стволов, под и рядом с которыми брался образец. Добавленный компонент дисперсии для случайного фактора «номер ствола» составил 24 и 29% от общей вариации содержания N и С и 3 и 5% от вариации содержания подвижных К и Р, соответственно. Для отдельных типов почв, только для участка Дп-С и только содержание и запасы N были значимо меньше у образцов, взятых под бревном, по сравнению с фоновой почвой: 0.33 ± 0.02 vs $0.24 \pm 0.03\%$ и 3.8 ± 0.3 vs 2.7 ± 0.4 т N/га. Вместе с тем, при сравнении характеристик почвы для отдельных бревен наблюдалось снижение содержания и запасов С и N

под лежащими стволами в среднем на 20% и увеличение содержания и запасов подвижных Р и К в среднем на 40-50 и 10-20%, соответственно. Для Дп-С разница между характеристиками под и рядом с бревном была, в среднем более яркой, чем для Тг, но для отдельных бревен размах значений был выше для Тг. Таким образом, несмотря на фиксируемое изменение анализируемых характеристик под лежащими стволами, в целом гетерогенность исследованных суглинистых почв очень высока, и наиболее ярко она проявляется на более богатых темногумусовых почвах.

Работа поддержана грантом РНФ 24-24-00340.

Литература

1. Воробьева Л.А., Ладонин Д.В., Лопухина О.В., Рудакова Т.А., Кирюшин А.В. Химический анализ почв. Вопросы и ответы. М. 2011. 186 с.
2. Евдокимов И.В., Костин Н.В., Быховец С.С., Кураков А.В. Активность выделения CO₂, азотфиксации и денитрификации при разложении крупных древесных остатков ели обыкновенной в южной тайге // Почвоведение. 2023. № 3. С. 370–379.
3. Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Смирнов В.Э. Динамика запасов биофильных элементов в валеже и почве после массового ветровала в широколиственном лесу на флювиогляциальных песках // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2023. № 62. С. 29–52. doi:10.17223/19988591/62/2.
4. Ханина Л.Г., Иващенко К.В., Смирнова В.Э., Бобровский М.В. Запасы углерода и азота, микробная активность гумусового горизонта суглинистых почв после массового ветровала в широколиственном лесу заповедника “Калужские засеки” // Почвоведение. 2024. № 11. В печати.
5. Harmon M.E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and future // Biogeochemistry. 2021. V. 154. P. 349–369.
6. Kayahara G.J., Klinka K., Lavkulich L.M. Effects of decaying wood on eluviation, podzolization, acidification, and nutrition in soils with different moisture regimes // Environ. Monit. Assess. 1996. V. 39. P. 485–492.
7. Magnússon R.I., Tietema A., Cornelissen J.H.C., Hefting M.M., Kalbitz K. Tamm Review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils // For. Ecol. Manag. 2016. V. 377. P. 1–15.

ХАРАКТЕРИСТИКА АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ И ПОЧВЕННЫХ ВОД В СМЕШАННОМ ЛЕСУ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

**Ходжаева А.К., Сапронов Д.В., Лопес де Гереню В.О.,
Зинякова Н.Б., Хорошаев Д.А., Курганова И.Н.**

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

kodzhaeva@pbcras.ru

Растворенное органическое вещество (РОВ) в почвах играет важную роль в биогеохимических циклах углерода, азота, фосфора и др. Источниками РОВ в лесных почвах являются свежий опад, подстилка, корневые выделения, атмосферные и прошедшие сквозь кроны выпадения. Оценка поступления органического вещества в почву и его внутрипрофильная миграция с почвенными водами являются важной задачей для понимания взаимосвязей и характеристики баланса углерода в наземных экосистемах. Несмотря на интенсивные исследования, проводимые в последние десятилетия в контексте изменения природной среды и климата для территории Российской Федерации остается необходимость исследования динамики РОВ в почвах разных природных зон и различных типах землепользования. В настоящей работе показаны первые результаты исследований атмосферных выпадений и лизиметрических вод в смешанном лесу Приокско-Террасного биосферного заповедника (ПТБЗ).

Отбор атмосферных основных (BD), прошедших сквозь кроны (TF) атмосферных выпадений и почвенных вод проводили в течение 2024 г. на площадках открытого (лугового) и лесного участков. Первый открытый участок представляет собой периодически косимый злаково-

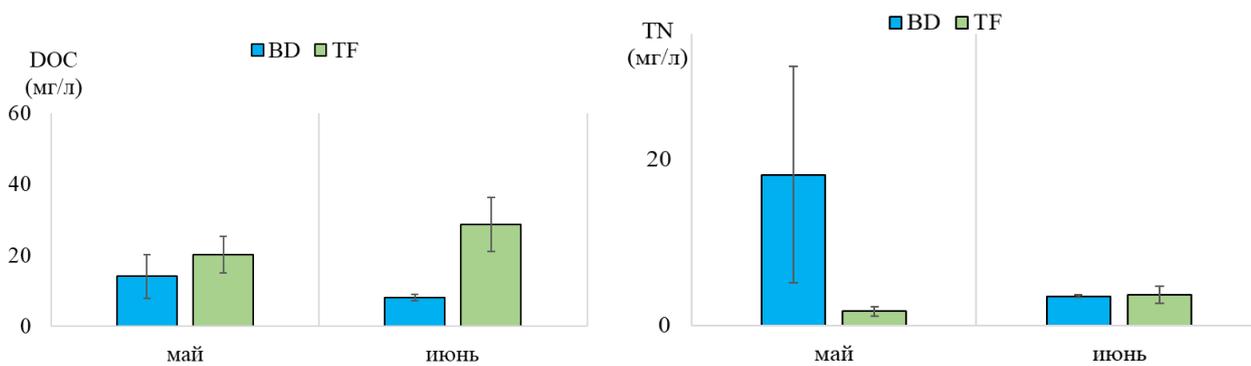


Рис. 1. Концентрации DOC и TN в атмосферных основных (BD) и прошедших сквозь кроны (TF) выпадениях открытого и лесного участков ПТБЗ в мае и июне.

разнотравный луг, второй участок лес смешанного породного состава (7С2Ос1Л+Е,Д,Б) с возрастом деревьев 120–150 лет. Почвенный покров исследуемых участков представлен песчаным дерново-подбуром, сформированном на флювио-гляциальных отложениях. За период (1991–2020 гг.) среднегодовая сумма осадков составила 640 мм, среднегодовая температура воздуха – 5.7°C, а июля и января – 18.8°C и -7.2°C, соответственно. На площадке открытого участка, размером 15×30 м, осенью 2023 г. было установлено 4 осадкосборника и 14 гравитационных лизиметров на глубине 0–10 см и 0–20 см. На площадке лесного участка, размером 50×50 м – 12 осадкосборников и 30 гравитационных лизиметров на глубине 0–10 см и 0–20 см. Отбор водных проб проводили в течении 2024 г. ежемесячно, начиная с апреля. При отборе водных образцов измеряли объем каждой получаемой пробы градуированным цилиндром. В образцах без дополнительной пробоподготовки измеряли pH потенциометрически и электропроводность кондуктометрически. Далее образцы фильтровали через мембранный фильтр с диаметром отверстий 0.45 мкм и определяли в них содержание растворенного общего углерода (ТС, мг/л), неорганического углерода (ИС, мг/л) и общего азота (TN, мг/л). По разнице между ТС и ИС находили содержание растворенного органического углерода (DOC, мг/л). Результаты измерений выражали как среднее ± доверительный интервал.

Представленные в работе характеристики атмосферных выпадений и почвенных вод соответствуют отборам образцов в мае и июне. Полученные средние объемы атмосферных основных и сквозных выпадений за эти периоды различались незначительно, варьируя в пределах от 750 до 1090 мл с максимумами на открытом участке и зависели от интенсивности осадков, и структурного разнообразия сообщества (количества элементов мозаики растительного покрова). Для вод, прошедших сквозь почвенный слой, получаемые объемы варьировали в значительной степени от 40 до 2730 мл с максимумами на открытом участке и также зависели от интенсивности осадков и структурного разнообразия сообщества. Оценка внутрипрофильного изменения объемов почвенных вод показала, что с увеличением мощности почвенного слоя уменьшается объем получаемой водной пробы. Величины pH атмосферных основных выпадений были близки к нейтральным, прошедших сквозь кроны – слабокислые. Величины pH почвенных вод были слабокислые и кислые. Показатели ЕС атмосферных основных, сквозных выпадений и почвенных вод также значительно варьировали, однако не превышали 200 мкСм/см. Значительное варьирование концентраций DOC и TN в атмосферных и почвенных водах продемонстрировано на рис. 1 и 2. В мае концентрация DOC в основных выпадениях составила в среднем 21.64 мг/л, в июне снизилась до 10.61 мг/л. В выпадениях, прошедших сквозь кроны деревьев, этот показатель был значительно выше (26.71 и 40.88 мг/л, соответственно). Концентрация TN в основных выпадениях в мае в среднем составляла 18.07 мг/л по сравнению с 1.6 мг/л в водах, прошедших сквозь кроны. В июне концентрации сравнялись (3.49 и 3.67 мг/л, соответственно). В водах, прошедших через органоминеральные горизонты дерново-подбура, концентрации DOC на открытом участке увеличились в среднем в 3 раза, на лесном – в 1.2 раза по сравнению с атмосферными выпадениями. Оценка внутрипрофильного изменения концентраций DOC в почвенных водах показала, что с увеличением мощности почвенного слоя уменьшалась его концентрация. Самые

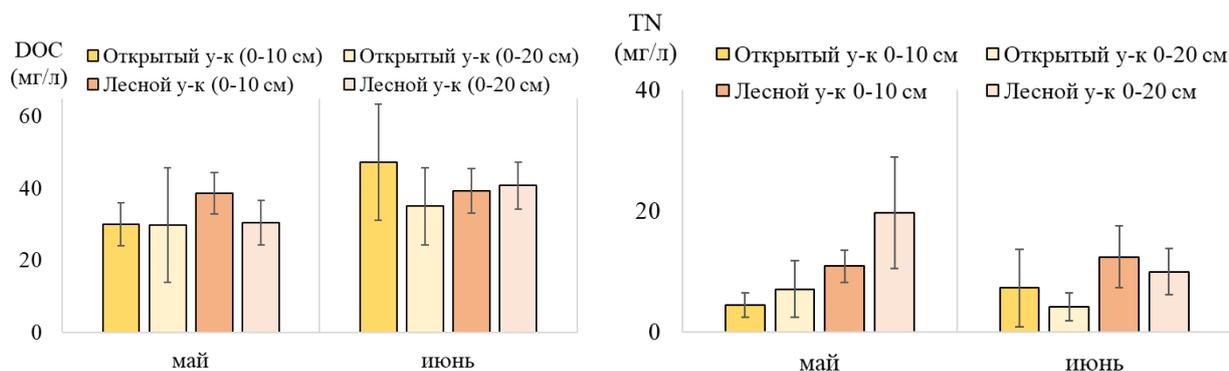


Рис. 2. Концентрации DOC и TN в почвенных водах открытого и лесного участков ПТБЗ в мае и июне.

высокие концентрации DOC отмечены в водах, прошедших сквозь почвенный слой 10 см на площадке открытого участка. Концентрации TN в почвенных водах открытого участка варьировали в пределах от 2 до 22 мг/л, лесного – от 3 до 73 мг/л. Оценка внутрипрофильного изменения концентраций TN в почвенных водах показала, что в мае с увеличением мощности почвенного слоя концентрации TN увеличивались, в июне – наоборот уменьшались. Самые высокие концентрации TN, отмечены в водах, прошедших сквозь почвенный слой 20 см под лесом (Рис. 2.).

Таким образом, полученные первые результаты показателей атмосферных выпадений и почвенных вод для открытого и лесного участков ПТБЗ указывают на высокую их вариабельность, обусловленную интенсивностью осадков, структурным разнообразием сообщества, а в водах, прошедших сквозь почвенную толщу определяемые характеристики почвенных вод, зависели от ее мощности.

Работа выполнена в рамках ВИП ГЗ "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации...» (рег. № 123030300031-6)".

ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ В ЛЕСНОЙ И ЛУГОВОЙ ЭКОСИСТЕМАХ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Хорошаев Д.А.*, Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Сапронов Д.В., Кивалов С.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем РАН -
обособленное подразделение Федерального исследовательского центра
«Пущинский научный центр биологических исследований Российской академии наук
142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская д. 2а, * d.khoroshaev@pbcras.ru

Дыхание почвенных гетеротрофов составляет существенную часть углеродного баланса в наземных экосистемах. Однако, понимание и прогнозирование сезонного и межгодового варьирования гетеротрофной (HR) и корневой (RR) компонент почвенного дыхания (SR) ограничено дефицитом круглогодичных многолетних прямых измерений. Чтобы лучше понять влияние текущих погодных условий на основные компоненты почвенного дыхания, на протяжении двух лет мы проводили еженедельные измерения SR, одновременно оценивая вклады HR и RR в двух контрастных типах экосистем.

Участки мониторинга располагались на территории Приокско-Террасного биосферного заповедника в хвойно-широколиственном лесу и на косимом лугу (54°54.148' N, 37°33.377' E) на дерново-подбуре песчаного гранулометрического состава. Климат региона умеренно-континентальный со среднегодовой температурой воздуха за последний период климатической нормы (КН) 1991–2020 гг. 5.7 °С и средней годовой суммой осадков 640 мм. Содержание органического углерода в верхних 10 см почвы составляет 12.2 ±2.8 г С/кг почвы в лесу и 8.5 ±0.3 г С/кг почвы

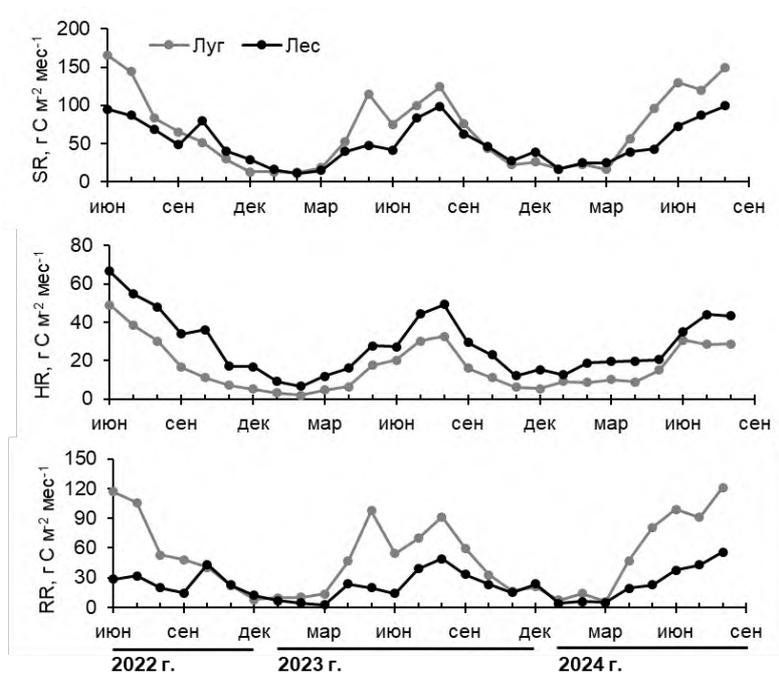


Рис. 1. Динамика суммарных месячных величин SR, HR и RR в лесном и луговом ценозах Приокско-Террасного заповедника.

на лугу. По содержанию азота в слое 0–10 см почвы двух участков не отличаются (0.93–0.96 г N/кг почвы). Мощность лесной подстилки составляет 2–4 см, на лугу наблюдается развитая дернина без наличия выраженного слоя травяного охеса.

SR определяли методом закрытых статических камер в пятикратной повторности в каждом ценозе [1]. Для оценки HR в почву на глубину 45 см врезали ограничители, представляющие собой пластиковые трубы диаметром 20 см. Почва внутри трубы была освобождена от корней, просеяна через сито 5 мм и уложена обратно с сохранением порядка слоев и плотности сложения. Величину RR оценивали по разнице SR и HR.

Два года наблюдений характеризовались равным количеством осадков и среднегодовой температурой воздуха близкими к КН, однако имели различия в распределении осадков в летне-осенний период. Летом 2022 г. осадков выпало в два раза ниже КН – 109 мм. Сумма осадков летом 2023 г. была близка к КН, однако большая их часть выпала в короткие временные периоды. Так, в июне 2023 г. 52 из 67 мм осадков выпало в первый и последний дни месяца, ограничивая трехнедельный засушливый период. В августе 2023 г. большая часть осадков (38 мм) выпала с 20 по 26 число.

Суммарные месячные величины SR варьировали от 11 до 166 г С м⁻² мес⁻¹ (рис. 1). Суммарная годовая величина SR на луговом участке была примерно в 1.3 раза выше, чем в лесу: 626–667 vs 495–504 г С м⁻² год⁻¹. Эти различия обеспечивались высокой активностью и значительным превалированием в структуре почвенного дыхания лугового ценоза корневой компоненты, которая достигала 72%, в отличие от леса, где она составляла 33–42% от годовых суммарных потоков CO₂ (рис. 1).

Во время засушливых периодов в августе 2022 г., июне 2023 г., а также в июле 2024 г. наблюдалось снижение скорости SR и обоих его компонентов (рис. 1). При этом, снижение RR было сильнее HR, что, вероятно, связано с более высокой чувствительностью корневой компоненты на дефицит осадков. Снижение интенсивности выделения CO₂ в засушливые периоды наблюдалось в оба года, что указывает на роль не только прямого дефицита осадков в формировании общего потока CO₂ из почвы, но и заметное влияние перераспределения осадков в течение сезона.

Различия между месячными величинами SR, HR и RR в изучаемых ценозах зависела от сезона года (рис. 1). Так, большую часть года за исключением периода с середины осени по середину зимы суммарные месячные величины SR на лугу были выше, чем в лесу. Напротив, зна-

чения HR на лугу были всегда ниже, что может быть объяснено отсутствием подстилки. Величина RR в луговом ценозе была в 2–5 раз выше большую часть года за исключением короткого периода с октября–ноября по январь–февраль, когда различия между ценозами не проявлялись.

Таким образом, два года непрерывных и регулярных наблюдений за SR, HR и RR позволили нам оценить не только вклад отдельных компонентов SR, но и понять влияние погодных условий на выявленные различия. Усиление засушливости климата может быть связано не только с низким количеством суммарного количества осадков, но и с увеличением продолжительности сухих периодов в результате перераспределения осадков. Динамика вклада корневой компоненты RR объясняет большую часть выявленных различий величины SR в двух изученных экосистемах. Результаты проведенных наблюдений показывают, что отклик RR на усиление засушливости погодных условий, вероятно, может определять большую часть межгодовой изменчивости SR, особенно на лугах, которые сильнее подвержены влиянию сухих периодов по сравнению с лесом.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122111000095-8) и Государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (№ 122040500037-6).

Литература

1. Курганова И.Н., Лопес де Геренно В.О., Хорошаев Д.А., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Жмурин В.А., Кудеяров В.Н. Анализ многолетней динамики дыхания почв в лесном и луговом ценозах Приокско-Террасного биосферного заповедника в свете современных климатических трендов // Почвоведение. 2020. 1220–1236.

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРА И ПОСТПИРОГЕННОГО РАЗВИТИЯ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕ ЛЕСОТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Чаусова Е.Е., Упорова М.А., Самохина Н.П., Арбузова Е.А., Филимоненко Е.А.

Тюменский государственный университет, chausova.liza2016@yandex.ru

Пожары в лесотундре Западной Сибири ежегодно охватывают около 300 км² [1], изменяя растительный покров и влияя на качество органического вещества почв. Постпирогенное развитие поврежденных пожаром участков сопровождается сменой растительной ассоциации и, как правило, восстановлением содержаний и запасов органического углерода, резко сниженных непосредственно после пожара [2].

Для оценки влияния природного пожара низкой интенсивности в лесотундре Западной Сибири и последующего развития трансформированного участка на стабильность органического вещества почвы, мы исследовали типичный пирогенный участок в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Территория исследования включала фоновый участок лесотундры, где природных пожаров не было как минимум в течение последних 60 лет, и участок лесотундры, поврежденный пожаром в 2018 году. Ежегодно с 2021 по 2023 гг., что соответствовало трем, четырем и пяти годам после пожара, на двух данных участках мы проводили отбор почв (Cryosols) в пяти полевых повторностях с глубин 0-5 см, 5-10 см, 10-20 см и 20-30 см.

Отобранные почвы высушивались, просеивались и измельчались для определения содержаний органического углерода ($C_{орг}$), общего азота ($N_{общ}$) (метод сухого сжигания на автоматическом анализаторе Elementar vario Pyro cube), оценки термической стабильности органического вещества (метод термогравиметрического анализа с нагреванием почв от 30 до 650 °C в окислительной атмосфере на приборе TGA/DSC 3+ Mettler Toledo), скорости базального дыхания (БД) (по интенсивности выделения CO₂ из почв при их инкубировании при 20 °C и увлажнении до 80% от водоудерживающей способности), и углерода микробной биомассы ($C_{мик}$) (метод субстрат-индуцированного дыхания).

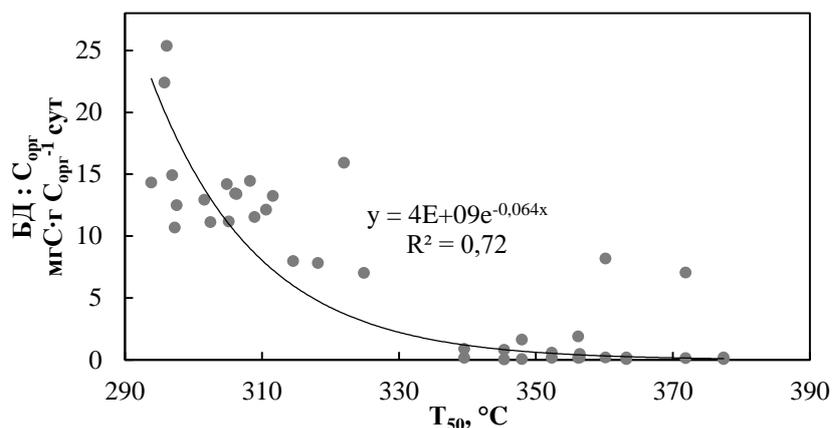


Рис. 1. Влияние термической стабильности почвенного органического вещества, выраженной через температуру сгорания 50% органического вещества в почве (T_{50}), на доступность органического вещества к микробной минерализации. ($БД:C_{орг}$).

Термическую стабильность почвенного органического вещества (ПОВ) определяли на основе его фракционирования на три пула: термически лабильный (сгорает при температуре 180–340 °C), стабильный (340–450°C) и устойчивый (450–650 °C). Маркерами термической стабильности ПОВ являлись отношение суммы содержаний стабильного и устойчивого ПОВ к содержанию лабильного ПОВ (индекс стабильности, IS) и температура, при которой сгорало 50 % содержащегося в почве органического вещества (T_{50}).

При постпирогенном развитии участка лесотундры содержание $C_{орг}$ увеличилось относительно почв фонового участка. Наибольший рост содержания $C_{орг}$ зафиксирован на глубине 10–20 см спустя 4 года после пожара и в верхних 5 см спустя 5 лет. Содержание $C_{орг}$ в почве на перечисленных глубинах были в 4 и 2 раза больше, чем в почвах фонового участка лесотундры. Содержание $N_{общ}$ в постпирогенной почве соответствует почве фонового участка. Через 5 лет после пожара запасы $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в почве (0–30 см) увеличиваются на 30% и 20% соответственно, что указывает на накопление органического вещества в процессе постпирогенного восстановления участка лесотундры.

Скорость БД в органическом горизонте и верхних 5 см минеральной почвы на третий послепожарный год снизились на 20% и 42% соответственно, а содержание $C_{мик}$ стали меньше на 17% и в 2 раза в сравнении с фоном. Спустя 4 года после пожара в минеральной почве БД и $C_{мик}$ были в 2,7 и 4,8 раза ниже в сравнении с почвами контрольного участка. Это связано с экстремальным термическим воздействием на почвенных микроорганизмов и уменьшением содержания доступного для микроорганизмов углерода, частично трансформированного в пирогенный углерод, недоступный для микробной минерализации. На пятый послепожарный год скорость БД увеличилась в 1,8 раза относительно предшествующего года, а содержание $C_{мик}$ стало соответствовать уровню, наблюдаемому в почвах фонового участка. Спустя 5 лет после пожара отношение скорости БД на единицу органического углерода и доля $C_{мик}$ в составе $C_{орг}$ снизились в 5 раз в сравнении с почвой фонового участка. В постпирогенных почвах был выявлен рост микробного метаболического коэффициента в 2–3 раза по сравнению с фоном. IS ПОВ в постпирогенных почвах равен 0,58, а в фоновых почвах - 0,79. Следовательно, ПОВ постпирогенных почв характеризуется большей термической стабильностью. Увеличение доли термоустойчивых органических соединений в составе ПОВ экспоненциально снижает его доступность для микробной минерализации, что подтверждается зависимостью $БД:C_{орг}$ от T_{50} (рис. 1).

В результате проведенного исследования, мы установили, что при постпирогенном развитии почв лесотундры Западной Сибири содержание органического углерода в них увеличивается и уже спустя 5 лет после пожара превышает фоновое содержание на 40 %, а скорость базального дыхания и пул микробного углерода восстанавливаются до значений, характерных для фонового участка лесотундры. Пожар увеличил термическую стабильность органического вещества почв. Стабилизация почвенного органического вещества приводит к снижению его доступности для микробной минерализации и снижает скорость оборота углерода в почве лесотундры после пожара.

Исследование выполнено в рамках проектов: РФФ № 23-24-00370 «Термические свойства почв как индикатор стабильности почвенного органического вещества», <https://rscf.ru/project/23-24-00370/> и «Устойчивое землепользование в Арктике в свете глобальных природных изменений (TerrArctic)», № 89-ДОН.

Литература

1. Filimonenko E, Vatutin G, Zherebyatieva N, Uporova M, Milyaev I, Chausova E, Gershelis E, Alharbi S, Samokhina N, Matus F, Soromotin A, Kuzyakov Y (20 Mar 2024) Wildfire effects on mercury fate in soils of north-western Siberia. *Journal: Science of the Total Environment*. 951. 175572.
2. Mack MC, Bret-Harte MS, Hollingsworth TN, Jandt RR, Schuur EAG, Shaver GR, Verbyla DL. Carbon loss from an unprecedented Arctic tundra wildfire // *Nature* 475. 2011. p. 489–492.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ГЕОСИСТЕМ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «КУЧАК»

Юртаев А.А. *, Шварцева О.С., Леонов Д.А., Первушина А.Н., Топорков И.Н.

Тюменский государственный университет, Володарского 6, г. Тюмень, Россия,

*yurtaevgeo@yandex.ru

Глобальные изменения климата усиливают необходимость детального изучения природных углеродных резервуаров, особенно в лесоболотных экосистемах, которые играют ключевую роль в углеродном цикле благодаря способности накапливать и сохранять большие объемы углерода. Водно-болотные угодья, хоть и занимают всего 5-8% суши, аккумулируют до 30% мировых запасов углерода в почвах [3]. Это подчеркивает значимость таких территорий, как карбоновый полигон «Кучак», где проводятся исследования запасов углерода в различных типах почв, что важно для понимания глобального углеродного цикла.

На ключевом участке карбонового полигона «Кучак» в Тюменской области были проанализированы углеродные запасы в разных почвах — от подзолистых до торфяных. Результаты показали существенные различия между ними, обусловленные их способностью к накоплению органического углерода (табл. 1). Подзолистые почвы, занимающие 13,5% площади полигона, характеризуются низкими запасами углерода (5-8 кг/м²). В то же время торфяные почвы, хотя занимают лишь 12,3% территории, содержат наибольшие углеродные запасы — до 130 кг/м², что связано с анаэробными условиями, препятствующими разложению органического вещества.

Подзолистые и подзолистые поверхностно-оглеенные почвы, хотя и более распространены на участке (42,9%), содержат меньше углерода (8-18 кг/м²), чем сильно заболоченные торфяно-болотные и торфяные почвы (до 90 и 130 кг/м² соответственно). Последние являются важными углеродными депо из-за благоприятных условий для накопления органического вещества. Общий запас углерода на ключевом участке карбонового полигона составляет 18 233 т, при этом наибольшие объемы сосредоточены в торфяных и торфяно-болотных глеевых почвах.

Анализ углеродных запасов показал, что средний показатель на участке составляет 529 т/га, что значительно превышает среднемировые значения (123 т/га) [4]. Это связано с высокой

Таблица 1. Распределение запасов углерода по типам почв на ключевом исследовательском участке карбонового полигона «Кучак»

Тип почвы	Площадь (га)	%	Запас углерода (т)	%
Подзолистые почвы	4,7	13,5	373,1	2,05
Подзолистые поверхностно-оглеенные	14,8	42,9	2 664,7	14,61
Торфяно-болотные глеевые почвы	10,8	31,3	9 720,9	53,33
Торфяные почвы	4,2	12,3	5 474,3	30,01
Итого	34,5	100	18 233	100

долей торфяных почв, которые, по мировым данным, могут содержать свыше 1 500 т/га углерода [2]. Для подзолистых почв (80–180 т/га) результаты также соответствуют среднемировым значениям (50–150 т/га) [1]. В целом, углеродные запасы на карбоновом полигоне «Кучак» превышают мировые показатели за счет высокой доли болотных геосистем.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта "Тюменский карбоновый полигон" (FEWZ-2024-0016)

Литература

1. Batjes, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // *European Journal of Soil Science*, vol. 47, no. 2, 1996, pp. 151-163.
2. Joosten, H., Tapio-Biström, M.-L., & Tol, S. Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use // *Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 5*. Rome: FAO, 2012. 110 p.
3. Nahlik, A. M., & Fennessy, M. S. (2016). Carbon storage in US wetlands // *Nature Communications*, 7, 13835.
4. Page, S. E., & Baird, A. J. Peatlands and Global Change: Response and Resilience // *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 41, 2016, pp. 35-57.

ПОЧВА КАК КОМПОНЕНТ БИОСФЕРЫ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ

ДЕТАЛИЗАЦИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТЕПНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПОДХОДОВ К ПАЛЕОПОЧВЕННЫМ РЕКОНСТРУКЦИЯМ

Алексеев А.О. Малышев В.В., Алексеева Т.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

Исследование посвящено разработке геохимических и минералогических индикаторных показателей отражающих интенсивность преобразований твердой фазы почв с целью достижения максимальной достоверности при палеоэкологических палеопочвенных реконструкциях. Проведено сопряженное изучение химического и минералогического состава почв с использованием комплекса инструментальных методов, с целью получения биогеохимических индикаторов преобразования почвенной массы в связи с градиентом климатических параметров. Исследования, базируются на анализе свойств почв климатических трансект в пределах степной зоны [Alekseev et al., 2023] и важны не только для задач палеопочвоведения и палеореконструкций климата, но во многом приближает к пониманию процессов почвообразования и развитию факторной теорий почвообразования, исследованию элементарных процессов почвообразования, формирующих твердофазные продукты функционирования почв. Для репрезентативных почвенных профилей в степной зоне с учетом климатического градиента проведено детальное изучение минералогии и химического состава валовых образцов и гранулометрических фракций <2, 2–5, 5–10, 10–50, 50–250 мкм с использованием комплекса методов включающих рентгеноструктурный анализ (XRD), Мессбауэровскую, рентген флуоресцентную (XRF)- спектроскопию, как пример развития инструментальных подходов для изучения преобразования и накопления различных твердофазных продуктов функционирования почв. Частицы, формирующие почвенную матрицу, неоднородны и различаются своими свойствами, что во многом обусловлено особенностями их минералогического и химического состава. Отдельная задача состояла в детальном анализе соединений железа.

Проведенные исследования химического состава демонстрируют различия в содержании элементов в зависимости от размера гранулометрических фракций. Максимальное содержание SiO₂ отмечается во фракции песка 82 до 75%; и снижается во фракции пыли и илистой фракции до 59 и 52 % соответственно. Содержание оксидов Fe, Mg, K, P, Ca возрастает с уменьшением размера почвенных частиц и достигает максимума в илистой фракции. Для части изученных почв рассчитаны вклады гранулометрических фракций в общий валовой химический состав. Проведен анализ изменения геохимических индексов по гранулометрическим фракциям. В качестве показателя степени выветривания рассматривали один из основных, а также широко используемым является химический индекс изменения CIA (Nesbitt and Young, 1982). Изменение индекса по размерным фракциям отражает смену минералогического состава по гранулометрическим фракциям, но существенной разницы между почвенным горизонтом и почвообразующей породой не фиксируется. Для количественной оценки химических изменений в течение выветривания основных субстратов предложен индекс: индекс основных изменений (MIA) [Babechuk et al., 2014]. Подобно химическому индексу изменений (CIA), MIA количественно определяет потерю подвижных основных элементов (Ca, Mg, Na, K ± Fe) относительно неподвижных основных элементов (Al ± Fe) и как свидетельствует проведенный анализ лучше отражает воздействие почвообразующих и климатических воздействий на исходные материалы. Получены значимые связи изменения индекса MIA для валовых образцов почв с климатическими условиями степного региона. При этом отмечается различие в изменении этого геохимического параметра в гранулометрических фракциях. Выполнены балансовые расчёты выноса–привноса химических элементов между элементами почвенной матрицы и в почвенном профиле в целом.

Минералогический анализ фракций фиксирует распределение минеральных фаз в разных размерностях. Так во фракции крупной и средней пыли преобладающими являются кварц и полевые шпаты, во фракции мелкой пыли фиксируется смектит и возрастает содержание гидрослюды. В илистой фракции преобладает смектит, также присутствуют каолинит, иллит, кварц. Проведен детальный анализ состояния соединений железа и распределение оксидов железа по гранулометрическим фракциям, определен вклад χ гранулометрических фракций в общую удельную магнитную восприимчивость. Анализ данных мессбауэровской спектроскопии фиксирует в гранулометрических фракциях черноземов, как и в валовом образце основную долю железа передавленную Fe^{3+} . Содержание Fe^{3+} в слое 0-10 см черноземов снижается с увеличением размера фракций от 85 до 70%. В свою очередь доля Fe^{2+} уменьшается от фракции мелкого песка к илистой фракции от 28 до 9%. В почвообразующей породе содержание Fe^{2+} выше как в общем образце, так и практически во всех гранулометрических фракциях. Для каштановых почв получены схожие закономерности, однако содержание Fe^{2+} в илистой фракции слоя 0-10 см выше, чем в черноземах, при этом отмечается близкие значения Fe^{2+} в почвообразующих породах черноземов и каштановых почв могут говорить о их одинаковом минеральном составе. В спектрах гранулометрических фракциях отмечается присутствие секстета линий, что говорит о наличии магнитоупорядоченной фазы железа ($H_{\text{эф}}$ от 500 до 510 кЭ) представленной гематитом разной степени окристаллизованности (размерности 15-25 нм). Доля секстета в спектрах, отражающая содержание гематита и величина $H_{\text{эф}}$ увеличивались с ростом размера фракций. В черноземах доля супердисперсного гематита увеличивается от 11 до 18% от валового железа от илистой фракции к фракции крупной пыли, а в каштановых почвах от 7 до 15%, что свидетельствует об унаследованности этой фазы в почве от породы. Проведенный детальный анализ состояния соединений железа и распределение оксидов железа по гранулометрическим фракциям позволяет утверждать о формировании в степных почвах в основном супердисперсного гематита. Отношение содержаний почвенного гематита и гематита демонстрирует связь с климатическими параметрами. Таким образом, детальный анализ твердой фазы почв позволяет получить дополнительные минералогические и геохимические показатели для возможных палеопочвенных реконструкций базирующихся на твердофазной памяти почв.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-24-00244).

СУЛЬФАТНО-КИСЛОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ, ЕГО АНАЛОГИ ИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО ЗЕМЛИ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

Алексеева Т.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия
alekseeva@issp.serpukhov.su

Кислые сульфатные почвы занимают площадь около 17 млн га территории Земли (1% от площади возделываемых почв) [6]. Они формируются на отложениях, содержащих сульфиды. Источники сульфидов в них могут быть различными (природные и антропогенные), как и причины их вовлечения в зону окисления (разработка содержащих сульфиды пород, мелиоративные работы, засуха и т. д.). На воздухе пирит окисляется с формированием серной кислоты, что вызывает снижение величины рН почвы до 4 и менее единиц. Продуктами окисления пирита являются гипс, различные Fe- сульфаты, Fe- оксиды/гидроксиды. Почвы этого типа широко распространены в зонах разработки сульфидных месторождений, вдоль морских побережий, где источником серы является морская вода; в зонах вулканической активности. Географически они встречаются на всех континентах, включая Антарктиду и являются аazonальными [4, 9, 13, 14].

Кислые сульфатные палеопочвы – одни из первых, появившихся на Земле. Показано, что самые древние содержащие сульфаты палеопочвы – архейские, были баритовыми, в фанерозое преобладающим конечным продуктом окисления пирита становится гипс [11].

В работе представлены результаты детального изучения палеопочв девонского возраста, сформированных на коре выветривания (КВ) железистых кварцитов протерозойского возраста:

(район КМА) и риолитовом туфе (Павловский ГОК). Возраст палеопочв оценен как эйфельский D2 (~393млн. л. н.) [2, 5]. На основании полученных аналитических характеристик установлено, что палеопочвы представляют собой аналоги современных кислых сульфатных почв. В железистом кварците пирит является продуктом диагенетических преобразований до-девонской КВ. В риолите пирит замещает содержащиеся в нем многочисленные включения углей аллохтонной природы. Обе изученные палеопочвы формировались под бескорневой литофитной растительностью. Массивные почвообразующие породы, наличие пирита, литофитная растительность позволяют охарактеризовать изученные палеопочвы как литоэкстремальные [3]. Почвообразование осуществлялось преимущественно в ходе *химического* преобразования пород, когда роль триггера выполнял пирит и процессы его окисления при участии биоты или без нее. Отличительной особенностью палеопочвы на железистых кварцитах являются масштабные преобразования породы на глубине ~15 см на фоне слабых преобразований материала кровли палеопочвы. Развитый матоподобный органогенный горизонт выполнял прежде всего протекторную роль и служил средой обитания микроорганизмов. Такие особенности ставят изучаемую палеопочву в один ряд с эпилитными и эндолитными системами современности [3]. Палеопочва на риолите демонстрирует наличие следующих морфологических признаков почвообразования: иллювиирование глины и формирование кутан, языковатая подошва, новообразование Fe- гипсовых нодулей. В ней формируются каолинит, гипс, гетит, Fe- сульфаты (ярозит – $KFe^{3+}_3(SO_4)_2(OH)_6$, и вольтаит – $K_2Fe_5^{2+}Fe_3^{3+}Al(SO_4)_{12} \cdot 18H_2O$). Для кровли палеопочвы характерны рост содержания Al_2O_3 , щими, изученные палеопочвы вместе с тем несут черты, характерные для теплых и влажных обстановок, которые господствовали на изученной территории в первой половине девона [1].

Изучение состава образцов марсианских грунтов выявило, что характерным химическим элементом пород на поверхности Марса является сера (до 23 % SO_3) [10 и др.]. Показано, что породы сцементированы сульфатами Mg, Ca, Na и Fe и оксидами железа (гематит, гетит, ферригидрит, акагенеит и др.) [7, 8, 10]. Такая ассоциация минералов дала основание полагать, что сульфатно-кислые палеопочвы были распространены и за пределами Земли. На Марсе содержащие гипс палеопочвы имеют архейский возраст (3.7-3.0 Ga) и отнесены к аридному ряду [12].

Азональный характер этого типа почвообразования объясняет почему традиционно используемые минеральные индикаторы климата, такие как наличие гипса и других сульфатов Ca, Mg и Na не обязательно свидетельствуют об аридных условиях почвообразования, а наличие каолинита и оксидов – о влажных обстановках.

Литература

1. Алексеева Т.В. Почвообразование и почвы в девоне и карбоне на территории Северной Евразии: строение, типы, биота, палеоклиматические архивы и стратиграфическая значимость. Дис. д. г.-м. н. М., 2020.
2. Алексеева Т.В., Алексеев А.О. Кислая сульфатная палеопочва в отложениях среднего девона на территории Центрального девонского поля (Павловский карьер, Воронежская область). Почвоведение. 2024. 1. С.14-26.
3. Горячкин С.В. География экстремальных почв и почвоподобных систем. Вестник РАН. 2022. 92 (6). С. 564–571.
4. Красильников П.В., Сафонова В.М., Седов С.Н. Сульфатнокислое выветривание в почвах Северной Карелии. Почвоведение. 1995. 6. С. 740–746.
5. Alekseeva T., Kalinin P., Malishev V., Alekseev A.O. Sulfide oxidation as a trigger for rhyolite weathering and paleosol formation in Devonian (Voronezh High, South Russia). Catena. 2023, 220 Part A: 106712.
6. Andriessse W., van Mensvoort M.E.F. Acid sulfate soils, distribution and extent. Encyclopedia of Soil Science. Ed. Lal R., Marcel Dekker. 2002. 1476 p.
7. Bishop J. L., Gross Ch., Danielsen J. et al. Multiple mineral horizons in layered outcrops at Mawrth Vallis, Mars, signify changing geochemical environments on early Mars. Icarus. 2020. 341. 113634.
8. Christensen P. R., Wyatt M. B., Glotch T. D., et al. Mineralogy at Meridiani Planum from the Mini-TES Experiment on the Opportunity Rover. Science 2004. 306. P.1733-1739.

9. Mendonca S.K.G., Moraes E.M.V., Otero X.L. et al. Occurrence and pedogenesis of acid sulfate soils in north-eastern Brazil. *Catena*. 2021. 196. 104937.
10. Morrison S.M., Downs R.T., Blake D.F. et al. Crystal chemistry of martian minerals from Bradbury Landing through Naukluft Plateau, Gale crater, Mars. *Am. Mineral*. 2018. 103 (6). P. 857–871.
11. Retallack G.J. Soil salt and microbiome diversification over the past 3700 million years // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2022. 598. P. 111016.
12. Retallack G.J., Jepson S., Broz A. Petrogypsic paleosols on Mars. *Icarus*. 2023. 394. P. 115436.
13. Wilson B.P. Elevations of sulfurous layers in acid sulfate soils: What do they indicate about sea levels during the Holocene in eastern Australia? *Catena*. 2005. 62. P. 45–56.
14. Zazovskaya E.P., Fedorov-Davydov D.G., Alekseeva T.V., Dergacheva M.I. *Soils of Queen Maud Land. The Soils of Antarctica*. Berlin: Springer. 2015. P. 21–44.

ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПАВЛОВСКОГО ПАРКА (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

Бахматова К.А., Шешукова А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Университетская наб., 7-9, k.bahmatova@spbu.ru

Павловский парк – крупнейший пейзажный парк в Европе (площадь 600 га), являющийся объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО. История парка начинается в 1777 г., одновременно с основанием Павловска, когда эта местность была подарена Екатериной Великой ее сыну Павлу и его супруге Марии Федоровне, в связи с рождением их сына, впоследствии – императора Александра I [4].

Павловский дворцово-парковый ансамбль находится на склоне Балтийско-Ладожского уступа, на берегу р. Славянка, в 30 км к югу от исторического центра Санкт-Петербурга. Климат – переходный от морского к умеренно-континентальному. Сумма активных температур – 1677°C. Количество осадков составляет 595 мм. Парк располагается на слабо дренированной террасированной озерно-ледниковой равнине с абсолютными отметками 28-44 м над у.м. Мелководная река Славянка, с извилистым руслом шириной от 3-4 м до 10-12 м, пересекает территорию парка с юго-запада на северо-восток на протяжении 3,5 км. Склоны речной долины местами подвергались целенаправленной трансформации для придания им правильной формы, вследствие чего в разрезах в средней и нижней части склона в районе Дворца выявлена значительная подсыпка мелкозема на исходную поверхность почв. Согласно историческим свидетельствам [3], также проводились укрепление берегов и расчистка русла реки Славянки для предотвращения весенних паводков, которые не только производили разрушения в парке, но и представляли опасность для фундамента Дворца. Основными почвообразующими породами являются озерно-ледниковые пески и супеси, аллювиальные пески, ленточные и кембрийские глины. Озерно-ледниковые пески и супеси слагают водораздельные пространства парка и склоны долины Славянки. Аллювиальные пески распространены в прирусловой части. В пойме реки часто встречаются двучленные отложения – аллювиальные пески или насыпные слои легкого гранулометрического состава, подстилаемые ленточными или кембрийскими глинами. Природная растительность территории парка соответствует подзоне южной тайги и представлена хвойными и мелколиственными лесами с напочвенным покровом из бореальных видов. Зональные почвы на отложениях легкого гранулометрического состава – подзолы и дерново-подзолы, на суглинистых породах – дерново-подзолистые. Широко распространены глееватые разности. Прилегающие к парку земли в основном распаханы и мелиорированы.

Композиция парка включает 7 районов: Придворцовый, Долина реки Славянки, Большая звезда, Старая Сильвия, Новая Сильвия, Парадное поле и Белая Берёза. В парке гармонично сочетаются открытые луговые пространства и газоны, куртины широколиственных пород и массивы хвойного леса.

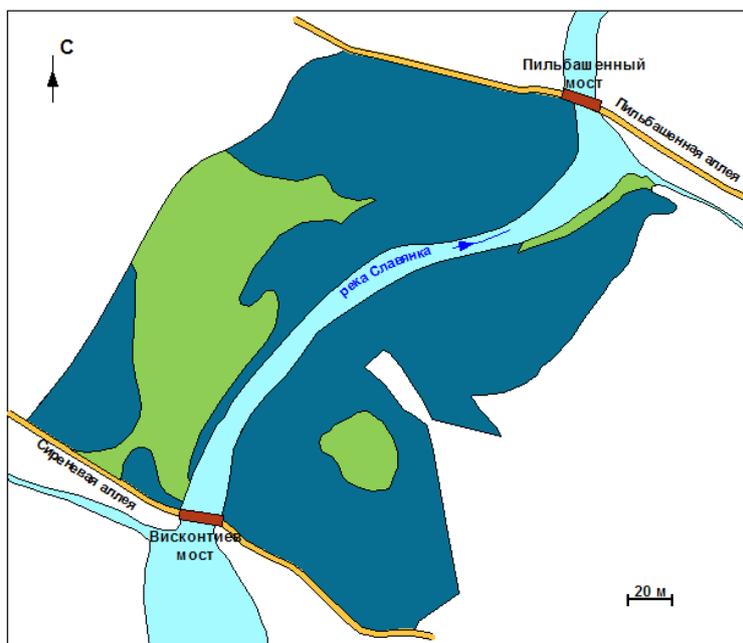


Рис. 1. Антропогенно-преобразованные и природные почвы в почвенном покрове района «Долина реки Славянки» на участке от Висконтиева моста до Пиль-башни. Условные обозначения: **Антропогенно-преобразованные почвы** (дерново-подзол иллювиально-железистый стратифицированный, серогумусово-глеевая урбистратифицированная, стратозем серогумусовый, стратозем серогумусовый глеевый, стратозем серогумусовый на погребенной почве, стратозем серогумусовый глееватый на погребенной почве, урбостратозем серогумусовый глееватый, урбостратозем серогумусовый); **Природные почвы** (серогумусовая, серогумусовая глееватая, аллювиальная серогумусовая глееватая).

Характер почвенного покрова Павловского парка обусловлен как природными особенностями его ландшафта, так и длительной и сложной историей формирования парка. В почвенном покрове парка преобладают дерново-подзолы иллювиально-железистые, среди которых значительная часть трансформирована деятельностью человека (стратифицированные, турбированные, постагрогенные подтипы), а также стратоземы серогумусовые и стратоземы серогумусовые на погребенных почвах. Деятельность человека привела к увеличению почвенного разнообразия за счет появления турбированных и стратифицированных подтипов природных почв, стратоземов и урбостратоземов [1, 2]. Доля антропогенно-преобразованных почв, в зависимости от района парка, составляет от 38 до 86%. Наиболее высокая степень антропогенного преобразования почв выявлена для центрального района парка, выступающего в качестве оси его композиции – «Долины реки Славянки».

Можно выделить несколько направлений трансформации почвенного покрова в Павловском парке: 1. Преобразование почв для создания оптимальных условий произрастания декоративных растений: строительство дренажной системы, подъем территории для снижения уровня грунтовых вод; подсыпка гумусированного материала для увеличения мощности плодородного корнеобитаемого слоя и т.д. 2. Мероприятия по расчистке и приданию формы руслу реки Славянки и укреплению ее берегов, что выразилось в стратификации почв долины. 3. Регулярные работы по прокладке дорожек, уходу за насаждениями. 4. Строительство мостов, дворцов, парковых павильонов, военные разрушения и последующие восстановительные работы.

Литература

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.И. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение, 2014, №10. С. 1155-1164
3. Семевский М.И. Павловск. Очерк истории и описание. 1777-1877. СПб.: Коло, 2011. 528 с.
4. Телеповский В.Н. Павловский парк. СПб.: Коло, 2005. 161 с.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДЫ В РАННЕМ ЖЕЛЕЗНОМ ВЕКЕ: ОТРАЖЕНИЕ В ЭЛЕМЕНТНОМ СОСТАВЕ ГОРОДИЩ В ИСТОКАХ ВОЛГИ

Бобровский М.В.¹, Смирнов А.Л.², Ханина Л.Г.³, Куприянов Д.А.²,
Данилевская В.И.², Добровольская М.В.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, 142290, Россия, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2, *maxim.bobrovsky@gmail.com*

²Институт археологии РАН, 117292, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 19, *ari1828@bk.ru*, *dmitriykupriyanov1994@yandex.ru*, *viktorys08@gmail.com*, *DobrovolskayaMV@iaran.ru*

³Институт математических проблем биологии РАН - филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, 142290, Россия, г. Пущино, ул. Проф. Виткевича, д. 1, *khanina.larisa@gmail.com*

В центре исследования находится феномен культурного слоя (КС) городищ раннего железного века, густая сеть которых выявлена нами в истоках Волги и Западной Двины [2]. Параметры культурных слоев позволили отнести их к категории археологических Dark Earth (ADE) – слабо стратифицированных темноцветных почв, богатых древесным углем и другими антропогенными включениями [3]. Богатство культурных слоев со свойствами ADE, высокое содержание углерода и высокая устойчивость к биохимическому окислению делают их потенциальной моделью для долгосрочного улучшения почвенных угроз, смягчения последствий изменения климата за счет депонирования углерода в локальном и глобальном масштабах [5]. Городища считают основной формой поселений в регионе в раннем железном веке. Однако вопрос, какие формы взаимодействия человека и природы сформировали Dark Earth, остается открытым. Задача данной работы – анализ элементного состава культурных слоев городищ и выделение групп городищ со сходными химическими свойствами

Полевые исследования проводили на территории северной части Пеновского района Тверской области. На территории района преобладают еловые и сосновые леса на дерново-подзолах, дерново-подбурах на водно-ледниковых отложениях с выходами морены. На участках 12 городищ проведено слабо нарушающее культурный слой бурение с помощью почвенного бура Эдельмана с шагом 15-20 см. Глубина бурения определялась глубиной КС (до границы слоя плюс один образец), составила от 40 до 160 см. Также отобраны образцы из КС селища Заборовка и восьми разрезов фоновых почв.

Общее содержание углерода, азота в образцах почвы измерено на CHNS-анализаторе. Элементный анализ образцов выполнен рентгенофлуоресцентным методом (РФА) на анализаторе X-MET 8000 в ЦКП Института археологии РАН. Определены концентрации для 21 элемента в 177 образцах. Для детального исследования переменных был рассчитан v -критерий, статистика которого следует нормальному распределению и считается как отношение разности между групповым и общим средним к ошибке этой разности [6]. Для анализа элементного состава КС и почв применяли метод анализа главных компонент (РСА). Расчеты были выполнены в среде R с привлечением пакета FactoMineR [7].

На основе анализа почвенных кернов описаны мощность и стратиграфия культурных слоев 12 городищ. Верхние слои городищ достаточно однородны по структуре и цвету. Чаще всего толщина темного культурного слоя составляет 40-70 см, но может достигать и 110-155 см. Гранулометрический анализ почв показывает, что в палеопочвах всех городищ преобладает песчаная фракция. Радиоуглеродный анализ образцов древесного угля с городищ ADE позволяет судить о времени антропогенной деятельности на городищах и возрасте ADE. Самые древние даты III века до н.э. были найдены для четырех городищ. Основной период активности на городищах - со II-I вв. до н. э. по II в. н. э. [1, 4].

Результаты анализа главных компонент для данных по химическому составу КС городищ и v -критерия позволили определить достоверно высокие концентрации элементов в КС различных городищ, а также выделить группы индикаторных элементов. Значения pH в ADE варьировали от 3,8 до 7,6. Концентрация углерода достигала 6-8%, что в три-четыре раза выше, чем в

фоновых почвах. Концентрации N, Fe, P, Mn, S, Zr и Zn в культурных слоях были в разной степени выше, чем в фоновых почвах. Co, Ni, As, Mg, Y и Mo встречены только в культурных слоях.

Группы исследованных объектов, выделенные с помощью иерархической классификации, совпали с группами, выделенными нами по результатам PCA и ANOVA. Состав элементов в ADE шести городищ был наиболее близок к гумусовым горизонтам лесных почв и культурному слою средневекового поселения. Мы предполагаем, что это были городища-поселения. Одновременно высокие концентрации N-P-S в культурных слоях двух других городищ, вероятно, указывают на большое количество органического вещества как источника этих элементов. Высокие концентрации Fe, Cu, Zn, Mn и Co в культурных слоях четырех других городищ, вероятно, являются следствием древнего металлургического производства. Концентрация углерода здесь также максимальна, что может быть связано с большими объемами древесных углей, получаемых в результате сжигания древесины при производстве металла (Бобровский и др., 2023). Городища с наиболее выраженными признаками железной металлургии имеют максимальный возраст. Возможно, они были форпостами в период освоения микрорегиона.

Выделяя группы городищ по особенностям их функционирования, мы ориентировались только на свойства темного КС (собственно, Dark Earth). Нельзя исключать, что КС некоторых городищ имеет многослойное строение и их функции могли изменяться по ходу существования.

Результаты нашего исследования показывают вероятное разнообразие функций городищ и вариантов хозяйственной деятельности на их территории в раннем железном веке.

Исследования поддержаны ГЗ 122040500037-6, 122011200264-9, FFMN-2025-0024.

Литература

1. Смирнов А.Л., Добровольская М.В., Куприянов Д.А., Ханина Л.Г., Челобаева Е.О., Бобровский М.В. Культурный слой городищ железного века и раннего средневековья в истоках Волги и Западной Двины (Руна-Заборовка, Заборовка-Лихуша, Ворошилово, археологический комплекс Верхмареево) // Археология Евразийских степей. 2023. № 3. С. 198–223.
2. Смирнов А.Л., Меньшиков М.Ю., Бобровский М.В., Куприянов Д.А., Клещенко Е.А., Свиркина Н.Г., Тиунов А.В., Добровольская М.В. Расселение и исторические ландшафты на западе Валдая в раннем железном веке и средневековье // Российская археология. 2021. № 3, с. 80-96.
3. Asare, M.O. Anthropogenic dark earth: evolution, distribution, physical, and chemical properties // Eur. J. Soil Sci. 2022. Vol. 73, No 5, e13308.
4. Bobrovsky M.V., Kupriyanov D.A., Smirnov A.L., Khanina L.G., Dobrovolskaya M.V., Tiunov A.V. Dynamics of diversity of woody species taxa under human impact in the Upper Volga region (NW Russia) according to pedoanthracological data // Diversity. 2023. Vol. 15. P. 403.
5. Dotterweich M., Schreg R. Archaeonics-(Geo) archaeological studies in Anthropogenic Dark Earths (ADE) as an example for future-oriented studies of the past // Quaternary International. 2019, Vol. 502, P. 309-318.
6. Husson F., Le S., Pages J. Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R. Chapman & Hall/CRC Press, London, 2017.
7. Lê S., Josse J., Husson F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis // Journal of Statistical Software. 2008, Vol. 25, P. 1.

АНТРОПОГЕННОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОМ ОСВОЕНИИ ГОРНОЙ ЗОНЫ

Борисов А.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино
a.v.borisovv@gmail.com.

В 1989 г. в широко известной работе «Патология почв и охрана биосферы планеты» В.А. Ковда с горечью констатировал: «Процессы разрушения и деградации почв преобладают над процессами создания высокопродуктивных и биосферно активных ... экосистем и почв» [8].

Прошедшие десятилетия лишь усугубили поднятые автором проблемы. На сегодняшний день более 50% почв планеты относятся к категории антропогенно-измененных, которые в результате хозяйственной деятельности приобрели новые морфологических и аналитических свойства. При этом для 3% почв такого рода деятельность привела к формированию нового генетического профиля. Такие почвы предложено называть *антропогенными* [4].

Следует отметить, что вопросы предпосылок, условий и механизмов формирования антропогенных почв – то, что можно объединить в единое понятие «антропогенное почвообразование» – остаются недостаточно полно проработанными. В 2005 г. И.И. Лебедевой, В.Д. Тонконовым и М.И. Герасимовой для общей характеристики процессов антропогенного почвообразования был предложен термин «антропедогенез». Авторы указывают в качестве условий антропогенного почвообразования относительную стабильность почвообразующего субстрата и отсутствие крупных пространственных перемещений материала [10]. Ранее М.А. Глазовская, Н.П. Солнцева и А.Н. Геннадиев предложили термин «технопедогенез» [5]. Однако, оба термина не получили широкого распространения. Гораздо более удачным оказался термин «агропедогенез». Его корни уходят в работы И.П. Герасимова и Ф.И. Козловского [3, 9], а фактические исследования активно продолжаются в наши дни [6, 7, 11].

Однако, анализируя перечисленные выше (а также многочисленные другие) работы, становится очевидным, что под агропедогенезом понимается лишь некий этап эволюции почвенного тела, когда антропогенная деятельность становится столь значимой, что изменяет действие других факторов почвообразования. Изменяется широкий спектр режимов и процессов, но все это происходит в уже *существующей* почве, когда почвообразующий субстрат не меняется и крупных пространственных перемещений мелкозема нет [5]. Фактически идет антропогенное преобразование минеральной массы верхних горизонтов почв [7]. При этом, даже если и формируется новая система почвенных горизонтов, их твердофазное вещество по-прежнему остается твердофазным веществом верхних гумусовых горизонтов исходной почвы. Поэтому говорить об *образовании* почвы, как таковом, можно лишь с известной долей условности.

Иная ситуация имеет место при агрогенном освоении горной зоны Кавказа. В условиях повсеместного распространения склонов при распашке резко усиливается скорость перемещения мелкозема с верхних участков поля на нижние, где на границе с нераспаханным участком начинается аккумуляция почвенного материала и рост профиля с формированием системы новых горизонтов [1, 2, 12]. Уже через несколько лет материал гумусовых горизонтов в верхней части поля оказывается полностью перемещенным водными потоками в нижнюю часть поля, где формируется ступенькообразный уступ – терраса. В итоге многолетнего припахивания почвообразующей породы исходный материал гумусовых горизонтов почвы оказывается выведенным из оборота и аккумулируется в нижних частях профиля новой почвы, в функционировании которой он принимает довольно опосредованное участие. Возникает *антропогенная* почва с иным набором генетических горизонтов. При этом в ней будет уже совершенно иной состав твердофазного вещества верхней части профиля, отличный от фоновых почв, существовавших до начала распашки. В этом заключается важнейшее отличие антропогенных почв горной зоны от равнинных вариантов. Пожалуй, именно такого рода процессы создания человеком почв с новым набором генетических горизонтов и новым составом твердофазного вещества можно в полной мере охарактеризовать термином *антропогенное почвообразование* при земледельческом освоении горных склонов. Результатом этого процесса являются земледельческие террасы – неотъемлемый элемент ландшафта Восточного и Центрального Кавказа.

Литература

1. Борисов А.В., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Пинской В.Н., Плеханова Л.Н., Идрисов И.А. Почвы древних земледельческих террас Восточного Кавказа // Почвоведение. 2021. № 5. С. 1–16.
2. Борисов А.В., Коробов Д. С., Симакова А. Н., Занина О. Г., Бухонов А. В., Демидов В. В.. Древние земледельческие террасы Кисловодской котловины: история и развития почв современное состояние // Почвоведение, 2012, № 6, с. 630–647.
3. Герасимов И.П. Учение В. В. Докучаева и современность (Науч. основы почвозащитного земледелия). Москва: Мысль, 1986. 124 с.

4. Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. Антропогенные почвы. Москва: Издательство Юрайт, 2024. 237 с.
5. Глазовская М.А., Солнцева Н.П., Геннадиев А.Н. Технопедогенез: формы проявлений // Успехи почвоведения. Советские почвоведы к XIII Межд. конгр. почвоведов. М.: Наука, 1986. С. 103–114.
6. Замотаев И. В., Иванов И.В. У истоков теории антропогенной эволюции почв и агропедогенеза: роль Ф.И. Козловского // Известия РАН. Серия географическая, 2020, том 84, № 4, с. 611–616.
7. Караваева Н.А. Агрогенные почвы: условия среды, свойства и процессы // Почвоведение. – 2005. – № 12. – С. 1518–1529.
8. Ковда В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты. Пушино: НЦБИ, 1989. 34 с.
9. Козловский Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2003. 536 с.
10. Лебедева И.И., Тонконогов В.Д., Герасимова М.И. Антропогенное почвообразование и новая классификация почв России // Почвоведение. 2005. № 10. С. 1158-1164.
11. Муха В.Д. Естественная и антропогенная эволюция почв. Москва: КолосС, 2004. - 270,
12. Пинской В.Н., Идрисов И.А., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Борисов А.В. Почвы земледельческих террас на глинистых сланцах в среднегорье Восточного Кавказа // Почвоведение. 2023. № 6. С. 691-702.

ПРОЦЕССЫ ПЕДОГЕНЕЗА В ПЛИОЦЕНЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Вашукевич Н.В.

Уральский государственный аграрный университет,
620000, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42, 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 [1].

Регионы юга Восточной Сибири (Прибайкалье и Западное Забайкалье) характеризуются наличием хорошо изученных геологических объектов с субэаральными неоген-четвертичными отложениями. Основные материалы - геохимические, литологические, палеофаунистические, палинологические с различной детальностью исследований. Сигналы, зашифрованные в виде палеопочв, солифлюксии, лессов, следов криогенеза по большей части приурочены к отложениям голоцена-верхнего плейстоцена.

Процессы педогенеза в плиоцене в Западном Забайкалье изучены 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 в последние годы материалам Н.П. Калмыкова [2,3], 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 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 были выявлены три зоны педогенеза, которые ранее характеризовались [4], как горизонты: 7 – глина красновато-коричневая,

с рассеянной дресвой и сильно карбонатизированными прослоями, глубина 3-3,3 м от поверхности; 8 – глина красновато-бурая с 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. Отношения Сгк:Сфк 2-4. Можно отметить также минимальное для всей толщи содержание негидролизованного остатка 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. Отношения Сгк:Сфк колеблются в пределах 1-2,6. Негидролизуемый остаток составляет 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%. Отношения Сгк:Сфк снижаются до 0,8-0,4. Содержание негидролизованного остатка здесь максимально для всей толщи (72-81%). 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. Илистая фракция также изучена методом ИК-спектроскопии на спектрометре Nicolet 6700 (FTIR). 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.

Литература

1. Зыкин В.С., Зыкина В.С., Маликов Д.Г. Актуальные проблемы стратиграфии и палеогеографии квартала Западной Сибири // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя boreальных районов. Мат-лы научной онлайн-сессии, посвященной 110-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР В.Н.Сакса. Новосибирск, 2021. С. 273-279.
2. Калмыков Н.П. Местонахождение Удунга (Западное Забайкалье, Россия): геология и фауна млекопитающих раннего плиоцена // Отечественная геология. 2017. № 2. С. 76-82.
3. Калмыков Н. П. Условия формирования ориктоценоза плиоценовых млекопитающих (Хамбинский хребет, Юг Восточной Сибири) // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2020. Том 5. № 4 (22). С. 14-22.

4. Калмыков Н.П., Кобылкин Д.В. Флювиальные и эрозионно-аккумулятивные процессы на южном склоне Хамбинского хребта (Западное Забайкалье) в плиоцене / Калмыков Н.П., Кобылкин Д.В. [Электронный ресурс] // textarchive.ru : [сайт]. — URL: <https://textarchive.ru/c-1194615.html> (дата обращения: 14.09.2024).

ТРЕНДЫ ГОЛОЦЕНОВОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТУНДРАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Губин С.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
e-mail: gubin.stas@mail.ru

Начавшееся в голоцене потепление вызвало на северо-востоке российского приледоморья коренную перестройку ландшафтной обстановки. Равнинные тундровые ландшафты Древней Берингии, сформированные на высокольдистых отложениях ледового комплекса при активном участии синлитогенного почвообразования, подверглись катастрофическому воздействию термокарстовых процессов, повлекших за собой прогрессирующую перестройку рельефа. Процесс преобразования начался с небольшого увеличения глубин оттайки деятельного слоя, возникновения дополнительного его увлажнения при резкой смене доминировавшего травянистого покрова мохово-осоковым. Это привело к резкой активизации в формировавшихся эпигенных почвах торфонакопления и развитию глеевых процессов. Последующее перераспределение влаги на поверхности вызвало появление многочисленных мелких термокарстовых западин быстро развившихся в термокарстовые озера. Их активный рост, развитие, слияние, сход на протяжении голоцена сформировали обширные озерно-аласные котловины с многочисленными террасами разного уровня и возраста, площадь которых занимает более 70% региона. Отсутствие или слабый дренаж в зоне современных тундр определяют на поверхности террас низкого и среднего уровней устойчивый тренд глеевого почвообразования, проявляющийся в формировании широкого спектра торфяно-глееземов и маломощных торфяников, с глубины 20 – 50 см подстилаемых многолетней мерзлотой. На небольших участках сохранившихся исходных позднеплейстоковых равнин, расположенных между аласными котловинами, или прилегающих к врезам речных долин и обладающих дополнительным дренажом, проявляется устойчивый тренд криоземообразования. Важную роль в его реализации принимают процессы криотурбаций, в частности пятнообразования. Они препятствуют формированию торфяных горизонтов, снижают увлажнение профилей, повышают их летнюю теплообеспеченность, ингибируют глееобразование. Тренд криоземообразования, как следствие длительного периода голоценового почвообразования в условиях постепенного нарастания дренированности, проявляется так же в верхних частях склонов террас высокого уровня.

ЗЕЛЕННЫЕ КРЫШИ КАК КОМПОНЕНТ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ

Гунина А.А., Васнев В.И., Долгушина Е.А., Кoryгина М.А., Шик А.Ю.

Российский Университет Дружбы Народов, Москва, gunina-aa@rudn.ru

Устойчивое развитие городов является одним из приоритетов современной науки, и правильное управление зеленой инфраструктурой является ключевым моментом для улучшения экологического состояния городской среды и климатической адаптации экосистем. Учитывая ограниченность пространства для зеленой инфраструктуры в городах, зеленые крыши являются одной из природоподобных технологий для интенсификации экосистемных услуг и смягчения последствий изменения климата, а также обеспечения углеродной нейтральности. Особое внимание при изучении функционирования зеленых крыш отводится их роли в формировании

микроклимата, управлению балансом углерода и процессам переноса воды в системе почва-растение-атмосфера. Одним из факторов которые регулируют функционирование зеленых крыш, является характеристика субстрата, включая органическую составляющую и минеральную основу. Органическая составляющая определяет функционирование микробных сообществ, и доступность элементов питания для растений, в то время как минеральная основа влияет на водный баланс субстрата. В настоящее время выбор субстрата для создания зеленых крыш определяется доступностью материалов в регионе создания, а также обеспечению легкости конструкции, и не всегда является оптимальным с точки зрения функционирования зеленой крыши как экосистемы. Исследования, проведенные в Китае, показывают, что зеленые крыши способны снижать концентрацию CO₂ в окружающей среде и поглощать CO₂ в дневное время, тем самым действуя как поглотитель углерода в городе [1]. Эксперименты на зеленых крышах, построенных из различных почвоподобных материалов в Канаде, показывают, что высокое содержание органических веществ в субстратах зеленых крыш может увеличивать выбросы CO₂, тогда как в субстратах с низким содержанием органических веществ могут наблюдаться более высокие потоки CH₄ [2]. Было выявлено [3], что секвестрация углерода зелеными крышами зависит также от вида растений, например для *Sedum acre*, *Frankenia thymifolia* и *Vinca major* было установлено, что годовое поглощение CO₂ при фотосинтезе составляло от 0,14 до 2,07 кг м⁻²; на примере зеленых крыш субтропического региона Китая среднее связывание углерода для *Ligustrum vicaryi*, *Neottia auriculata* и *Liriope spicata* было 6,47 кг С м⁻² год [4]. Зеленые крыши могут также снизить на 2% концентрацию CO₂ на прилегающей территории [5]. Однако, остается неясным, можно ли улучшить секвестрацию углерода системами зеленых крыш в городах, если включать в растительное сообщество виды, адаптированные к конкретным климатическим условиям. В данной работе будут представлены 1) технологии создания зеленых крыш экстенсивного типа в трех городах, расположенных в контрастных климатических регионах – Ростове-на Дону, Москве и Екатеринбурге, и 2) результаты сравнение субстратов для создания зеленых крыш с точки зрения обеспечения роста растений. Будут представлены результаты сравнения 4-х субстратов, состоящих (по массе) из: 1) кокосового волокна (45%), пеностекла (20%), песка (25%) и осадка сточных вод (10%), 2) кокосового волокна (25%), пеностекла (25%), песка (25%) и осадка сточных вод (25%), 3) коры лиственницы (45%), керамзита (20%), песка (25%) и вермикомпоста (10%) и 4) коры лиственницы (25%), керамзита (25%), песка (25%) и вермикомпоста (25%). Сравнение будет проведено по таким параметрам как водоудерживающая способность, количество и качество органического вещества, pH, способность поддерживать рост растений в условиях засухи и при оптимальном увлажнении. В качестве модельного растительного сообщества использовалась смесь овсяницы красной, райграса и мятлика, смешанных в равном соотношении. Также будут представлены результаты по развитию микробных сообществ и формированию ферментного комплекса субстратов при развитии модельного растительного сообщества. Данная работа представляет собой обобщение уже имеющихся данных по структуре зеленых крыш, функционирующих в трех городах исследования, а также экспериментальное исследование по воздействию качества субстрата на рост растительного сообщества в системе зеленых крыш. Будут также представлены рекомендации по оптимизации органической части субстрата в зависимости от климата, в котором предполагается создание систем зеленых крыш.

Данная работа поддержана грантом РФФИ №24-17-00134 «Оценка и моделирование потоков углерода, воды и тепла в экосистеме зеленых крыш: сравнение трех климатических зон».

Литература

1. Chen PY, Li YH, Lo WH, Tung CP, 2015. Toward the practicability of a heat transfer model for green roofs. *Ecol Eng*, 74:266–73.
2. Halim MA, Vantellingen J, Gorgolewski AS, Rose WK, Drake AP, Margolis L, Thomas SC, 2022. Greenhouse gases and green roofs: carbon dioxide and methane fluxes in relation to substrate characteristics. *Urban Ecosystems*, 25:487-498.
3. Seyedabadi R, Eicker U, Karimi S, 2021. Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environ Chall*, 4:100119.

4. Luo H, Liu X, Anderson BC, Zhang K, Li X, Huang B, 2015. Carbon sequestration potential of green roofs using mixedsewagesludge substrate in Chengdu World Modern Garden City. *Ecol Indic*, 49:247–59.
5. Li JF, Wai OWH, Li YS, Zhan JM, Ho YA, Li J, 2010. Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Build Environ*, 45:2644–51.

ПОЧВЫ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Демидов В.Э.¹, Шадриков И.Г.¹

¹*Приокско-Террасный государственный заповедник,
местечко Данки, Московская область, Российская Федерация, vasdemidov@mail.ru*

Введение. Впервые о присутствии почв со вторым гумусовым горизонтом (ВГГ) на территории Приокско-Террасного заповедника (ПТЗ) (Серпуховский район Московской области) сообщил в 1949 г. В.М. Фридланд [9]. Исходя из общих характеристик профилей дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом, обнаруженных в пологих депрессиях и на террасах притоков Оки – рек Таденки и Пониковки, Фридландом был сделан вывод о реликтовом луговом типе их развития с последующим наложением подзолистого процесса, однако, специальных исследований этих почв не проводилось.

С начала 2000-х годов подробные почвенные исследования были проведены группой Игоря Васильевича Иванова, по результатам которых создана почвенная карта заповедника [2, 6] и сделаны выводы о распространении подбуров как древнейшего типа почв территории с последующим распространением подзолов и наложенных процессах оглеения и заболачивания [1, 7]. Целью настоящей работы является пространственный анализ разрезов с ВГГ из отчетных материалов Иванова и сопоставление основных черт смены условий почвообразования с данными современных споро-пыльцевых исследований на территории ПТЗ и исследований погребенных почв на прилегающей пойме р. Оки.

Материалы и методы. Описания почвенных разрезов получены из отчетов группы И.В. Иванова, предоставленных в научный отдел заповедника в 2023 году Ж.С. Асаиновой и И.Г. Шадриковым. Общее количество разрезов - 225; шурфовка велась с 2000 по 2009 гг. по сети квартальных просек заповедника (шаг просек 1 км). Для целей настоящей работы все описания разрезов были оцифрованы в формате Excel. Для анализа из общего списка выделены разрезы с наличием ВГГ с указанием координат, типа наложенной почвы, типа ВГГ, характера растительности, рельефа, положения грунтовых вод, наличия угольков на различных глубинах. Атрибуция типа почв и подстилающего горизонта, употребление терминов «наложенный горизонт», «погребенный горизонт», «подстилающий горизонт» приведены так, как они зафиксированы в отчетах группы И.В. Иванова [8].

Результаты и обсуждение. Располагаются почвы с ВГГ разрозненными очагами на всей территории заповедника, но наибольшая частота встречаемости отмечена на высоких водоразделах в северной его части. Исходя из значительного общего числа почвенных разрезов и геометрии их расположения – по правильной сетке квадратов (квартальной сети), можно считать, что доля разрезов с ВГГ (до 18,6%) отражает реальную долю этих сложных (по терминологии Иванова) почв от всей площади территории. В подстилающем горизонте преобладают подбуры типичные, что должно свидетельствовать об эволюционном снижении доли площадей подбуров и смене этого типа почв в пользу торфянистых и подзолистых почв.

Данные по разрезам И.В. Иванова можно сравнить с накопленным за 2021-2023 гг. дополнительным материалом по распространению погребенных почв и почв с ВГГ на пойме р. Оки в охранной зоне заповедника [5, 3] и споро-пыльцевым спектрам болот севера ПТЗ [4]. Согласно споро-пыльцевым спектрам колонки образцов из торфяного болота в северной части заповедника (квартал 8), господство широколиственных лесов на данной территории продолжалось с 7000 до 3400 кал. л.н., после чего в спектрах появляется пыльца ели [4]. По всей видимости,

именно этот процесс, стартовавший в конце суббореала и отражающий климатические изменения, нашел свое отражение в динамике почв с ВГГ заповедника, когда на типичные подбуры накладывались процессы оподзоливания и торфообразования. Смена характеристик почвообразования на пойме р. Оки, судя по радиоуглеродным датировкам погребенных почв [3], здесь также происходила после завершения теплого атлантического времени синхронно со сменой почвообразования на водоразделах.

Заключение. Таким образом, анализ расположения почвенных разрезов со вторым гумусовым горизонтом, исследованных И.В. Ивановым в период 2000-2009 гг., позволяет заключить, что почвы с ВГГ получили наибольшее распространение на водоразделах в северной части заповедника. Характеристики наложенных и подстилающих горизонтов свидетельствуют об эволюционном снижении доли площадей подбуров в пользу торфянистых и подзолистых почв. Этот процесс, судя по данным современных палинологических и палеопочвенных исследований территории заповедника и его охранной зоны, начался в суббореале со сменой климатических обстановок и расселением ели.

Литература

1. Асаинова Ж.С. Иванов И.В. Эволюция почв Приокско-Террасного биосферного заповедника. Проблемы эволюции почв: Материалы IV Всероссийской конференции, Пушкино, 01–05 апреля 2003 года / Ответственный редактор В.А. Дёмкин. – Пушкино: Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 2003. С. 122-131.
2. Атлас карт Приокско-Террасного заповедника. Отв. ред. М.В. Бобровский, М.Н. Брынских. Пушкино, ООО Биопресс, 2005. С. 12-21.
3. Демидов В.Э. Хохлова О.С., Занина О.Г., Губин С.В. Палеопочвы и палеогеографическая обстановка второй половины голоцена в пойме р. Оки в районе Приокско-Террасного заповедника. Известия РАН, серия географическая. В редакции.
4. Ершова Е.Г. Отчет по теме «Результаты спорово-пыльцевого анализа торфяной залежи болота на границе 8 квартала ПТЗ и 52 квартала». Летопись природы Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника за 2021 г. Книга семьдесят четвертая, часть II. Результаты работ по темам научного сотрудничества. Фонды ПТБЗ, инв. № 787, 2022. С. 8–23.
5. Зарецкая Н.Е. Изучение отложений пойменно-террасового комплекса долины р. Оки в районе Приокско-Террасного заповедника. Отчет. Фонды Приокско-Террасного заповедника. Инв. №788. 2023.
6. Иванов И.В., Шадриков И.Г., Асаинова Ж.С., Дмитраков Л.М. Пространственно-временные соотношения почвенного и растительно- го покровов на границе южной тайги и смешанных лесов в условиях антропогенного воздействия / Почвенные процессы и пространственно- временная организация почв, Москва, Наука, 2006. С. 78–97.
7. Иванов И.В. Шадриков И.Г. Развитие почв и растительного покрова в южной тайге (на примере Приокско-террасного заповедника) // Эволюция почвенного покрова: Труды V Международной конференции, Пушкино, 26–31 октября 2009 года. Пушкино: Государственное унитарное предприятие Московской области Серпуховская типография, 2009. С. 193-197.
8. Классификация почв России. М. Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. 1997. 232 с.
9. Фридланд В.М. Почвы Приокско-Террасного государственного заповедника. Фонды ПТБЗ, инв. № 34. 1949. 91 с.

ПОЧВЕННО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЕДОХРОНОРЯДОВ СРЕДНЕВЕКОВЫХ КУРГАННЫХ МОГИЛЬНИКОВ (ПЛЮССКИЙ РАЙОН ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Жарких И.А., Русаков А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9, e-mail: igor.j88@mail.ru

Всестороннее изучение погребенных почв и переотложенного почвенного материала, использованного для сооружения курганных комплексов, особенно актуально для реконструкции

особенностей функционирования природной среды в позднем голоцене на территории лесной зоны, как слабо изученной в археологическом почвоведении.

Регион исследования относится к Прибалтийской провинции дерново-подзолистых почв южно-таежной подзоны. Описаны почвы, погребенные под курганными конструкциями в периоды с различными климатическими условиями.

Погребенные почвы, изученные на представленных курганных группах объектах, а также фоновые современные почвы представлены дерново-подбурами иллювиально-железистыми, что соответствует почвенно-географической зональности. Почвы курганных конструкций диагностированы как дерново-подбуры иллювиально-железистые оподзоленные [4].

Почвенные профили, развитые на всех изученных курганных конструкциях, имеют гумусовый горизонт и развитые горизонты ВFe и ВF, при этом нижний горизонт R в минимальной степени подвержен процессам современного почвообразования. Длительность почвообразования для данных почв составляет более 1 тыс. лет. Степень развития данных почв относится к длительной стадии дифференциации почвенного профиля.

Характер распределения форм железа совместно с оценкой параметров мезоморфологического анализа минерального материала позволяют выявить влияние изменяющихся условий окружающей среды на процессы, формирующие почвенный профиль [2]. Влияние периода с более теплым и сухим климатом на процессы почвообразования проявляется в меньшей подвижности соединений железа и более активном гумусонакоплении, меньшем освещении минеральных зерен [3, 5, 6].

Данный подход, при наличии датированных погребенных почв позволяет отслеживать колебания условий среды предыдущих исторических эпох, изменявшихся лишь в течение 100–200 лет [1].

По данным фитолиитного и спор-пыльцевого анализов для гумусовых горизонтов исследованных погребенных почв, совместно с признаками линейности нижней границы показана вероятность прохождения ими стадии пахотного горизонта. При этом фиксируется наличие пыльцы сосны, что свидетельствует о произрастании на данных участках хвойных лесов.

Литература

1. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
2. Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. 236 с.
3. Геннадиев А.Н. Почвы и время модели развития. М.: Изд-во МГУ, 1990. 230 с.
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Слепцов А.М., Клименко ВВ. Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // История и современность. 2005. № 1. С. 118–135.
6. Таргульян В.О. Теория педогенеза и эволюции почв. М.: ГЕОС, 2019. 296 с.

РОЛЬ ПОЧВЫ В МЕЖГЕОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ В СИСТЕМЕ «ЛИТОСФЕРА-БИОСФЕРА»

Зубкова Т.А., Суханова Н.И., Кирюшин А.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
Москва, Ленинские Горы д.1, стр.12. dusy.taz@mail.ru

Введение. Согласно представлениям о нашей планете как системе геосфер существует непрерывное взаимодействие их друг с другом, при котором геосферы обмениваются энергией, импульсом и массой [8]. В геосферных взаимодействиях значительную роль играют разломно-блоковые структуры земной коры, которые служат проводниками газовых флюидов в период

своего активного существования. В этих районах формируются озоновые аномалии в результате дегазации H_2 из глубинных зон планеты [8,9,13], изменяются атмосферное давление, температура воздуха, количество осадков, химический состав газов, электромагнитные свойства атмосферы и др.. Эндогенные геофизические факторы влияют и на структуру растительности и биогеоценозов [1,3,14], а также приводят к повышению психоневрологических заболеваний человека [2]. Оценка влияния педосферы на формирование биосферы и гидросферы изучалась на протяжении многих лет, и показана активная роль почв [4,7]. Однако совсем мало данных о роли педосферы в межгеосферных взаимодействиях в системе «литосфера-биосфера». Выступает ли почва в качестве инертной материи или сама изменяется и играет роль активного пропускного канала в миграции глубинных газов из литосферы в биосферу? Среди эндогенных газов, выделяющихся в атмосферу, основную долю составляет водород (более 90%). Актуальность исследований влияния эндогенного H_2 на почву обусловлена увеличивающимися масштабами водородной дегазации Земли на всех континентах [9,13]. Существенная площадь таких территорий в России приходится на черноземные пахотные почвы [11,12], что сказывается на снижении урожая. Поэтому влияние глубинного водорода на почву важно для оценки, как хозяйственной деятельности человека, так и плодородия, а также санитарных функций почвы. Представленная работа посвящена оценке физических и химических свойств почвы на территориях с повышенной водородной дегазацией Земли.

Объекты и методы исследования – агросерые почвы Липецкой области, черноземы обыкновенные Воронежской и Ростовской областей. Водородные потоки измеряли газоанализатором водорода ВГ-3В. Устойчивость агрегатов – методом прямого механического раздавливания, модифицированная модель МП-2С, в 35-кратной повторности [6]. Общее содержание Сорг – по Тюрину, состав гумуса – в пирофосфатно-щелочной вытяжке, рН – потенциометрически и др..

Результаты. В условиях повышенных эндогенных потоков водорода в почвах формируется восстановительный режим, увеличивается кислотность, происходит осветление гумусового горизонта из-за изменения его состава в направлении увеличения фульватности [10,11,12], агрегаты размером 2-3 мм и 3-5 мм теряют свою устойчивость к механическим воздействиям в 2-3 раза [5,15]. Вероятно, трансформация гумусовых веществ, как органических «клеев», приводит к ослаблению внутривязей и снижению устойчивости агрегатов. Но возможно снижение устойчивости агрегатов связано с уменьшением грибного мицелия [10] и соответственно гломалина, грибного структурообразователя.

Таким образом, отвечая на вопрос о роли почвы в межгеосферных взаимодействиях на примере струйной дегазации водорода из глубинных зон планеты, можно заключить, что почва не инертный пропускной канал в системе «литосфера-биосфера»: в ней происходят изменения не только на молекулярном уровне организации вещества, но и на более высоком структурном уровне – агрегатном. Установлено отрицательное воздействие эндогенных водородных флюидов на плодородие почв, что проявляется в деструкции гумуса, его осветлении, подкислении и закислении почвенной среды, а также потере устойчивости почвенных агрегатов.

Литература

1. Беляев В.В., Кутинов Ю.Г., Левачев А.В., Чистова З.Б. Влияние геоэкологических факторов среды на агроклиматические условия роста лесных и сельскохозяйственных культур в Архангельской области // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Естественные науки. 2007. С. 4 – 12.
2. Белашев Б.З. Психотропные эффекты земных недр. Модели и механизмы. // Альманах Пространство и Время. 2016. Т.11, вып.1. <http://www.j-spacetime.com>
3. Боярских И.Г., Шитов А.В. Особенности внутривидовой изменчивости плодов *Lonicera Caerulea* L. в связи с активными геологическими процессами горного Алтая // Вестник Томского государственного университета. 2011. Вып. 348
4. Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А. Геосферы и педосфера. М.: ГЕОС, 2010 г. 192 с.
5. Зубкова Т.А., Суханова Н.И. Особенности почвенных агрегатов в условиях выделения эндогенного водорода // Пространство и время. 2018. № 1-2 . С. 181-192.

6. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: РУСАКИ, 2001. 296 с.
7. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М. «Наука». 1985. 263 с.
8. Кутинов Ю., Чистова З., Беляев В., Неверов Н. Земля как система оболочек, объединённых каналами глубинной дегазации 2018. <https://regnum.ru/news/innovatio/2428428.html>
9. Ларин В.Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М.: «Агар». 2005, 248 с
10. Суханова Н.И., Трофимов С.Я., Полянская Л.М., Ларин Н.В., Ларин В.Н.. Изменение гумусного состояния и структуры микробной биомассы в местах водородной эксгаляции // *Почвоведение. Eurasian Soil Science*. 2013. №2 с.152–162.
11. Суханова Н.И., Трофимов С.Я., Степанов А.Л., Кирюшин А.В. Особенности черноземных почв района Хоперского глубинного разлома земной коры // *Почвоведение*. 2020. № 2, с.1-11.
12. Суханова Н.И., Кирюшин А.В. Особенности гумусного состояния черноземных почв, формирующихся в условиях выхода глубинного водорода в различных условиях увлажнения // *Почвы и окружающая среда*. 2022. Том 5. № 3. с184. DOI: 10.31251/pos.v5i3.184
13. Сывороткин В. Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр». 2002. 250 с.
14. Тимченко Е.В., Тимченко П.В., Селезнева Е.А. Экспериментальные исследования влияния водорода на оптические характеристики растений // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2014. Т.16. Вып. № 1-1
15. Sukhanova N.I., Zubkova T.A. State of organic matter and particularities of physicochemical properties of soils in the endogenous hydrogen seepage zones. // *Open Journal of Soil Science*, 2018. № 8. p. 186-196

БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Инишева Л. И.

Томский государственный педагогический университет,
Россия, 634061, Томск, ул. Киевская, 60, inischeva@mail.ru

За годы исследований накоплен большой фактический материал по торфяным болотам, доказана их важная биосферная роль [2], отчасти определены направления их рационального природопользования [5], однако сущность болотного почвообразования, его место в становлении современной биосферы, да и само понятие болотной (торфяной) почвы так и остаются не определенными [3]. Вместе с тем, болотная форма почвообразования – одна из древнейших, ее абсолютный возраст составляет около 400 млн лет. Древнее болотное почвообразование, кроме депонирования биомассы приняло участие в формировании кислородсодержащего состава газовой оболочки планеты и выходе организмов из водной среды на сушу. И происходило это на протяжении 3-х периодов эволюции биосферы – гидроземного, атмосферного и литоземного.

Гидроземный период. К рубежу 4 млрд лет начался эволюционный биологический процесс, приводивший к появлению все новых организмов и их усложнению. Гидроземный период был самый продолжительный – более 3 млрд лет, начиная от докембрия до середины девона. В докембрии (рис. 1) осадочные породы имеют в своем составе углерод биогенного происхождения, что означает, что жизнь зародилась именно в этот период, и атмосфера Земли состояла в основном из аммиака и углекислого газа. Это был период господства океана, в котором протекала эволюция первого органического мира. Разные организмы способствовали накоплению под водой богатых органических почв. В конце этого периода в атмосфере Земли появляется кислород.

Атмосемный период – это время адаптации организмов, прежде всего растений, к условиям воздушного окружения. Его продолжительность составила около 175 млн лет. Для данного отрезка времени характерны резкие эволюционные преобразования флоры и фауны, которые создали огромную наземную биомассу. Это были древние леса и болота. Болото можно рассматривать и как водоем, где вода связана с органикой, и как сушу, содержащую 80–90 % воды и 20–10 % сухого вещества. При таком двуединстве экологический контраст между водной средой и сушей

Эра	Геологический период	Начало периодов, млн. лет	Периоды эволюции биосферы	Отложения твердых каустобиолитов
Кайнозойская	Антропоген	2		Торф
	Неоген	25		
	Палеоген	67		
Мезозойская	Мел	137	Литоземный	Бурый уголь
	Юра	195		
	Триас	230		
Палеозойская	Перм	285	Атмосемный	Каменный уголь
	Карбон	350		
	Девон	406	Гидроземный	
	Силур	440		
	Ордовик	500		
Кембрий	570			
Докембрий				

Рис. 1. Геохронология эволюции биосферы и отложений твердых каустобиолитов [1].

в болоте являлся наименьшим. Благодаря этому болотное почвообразование в истории биосферы выполнило своего рода роль переходного моста, по которому растения вышли из воды на сушу.

Литоземный период – время освоения растениями и животными литосферной оболочки суши. Охватывает все геологические периоды мезозойской эры: триас, юра, мел. Его продолжительность – около 160 млн лет. На данном историческом этапе происходило становление современной флоры и фауны. В конце литоземного периода происходит коренное преобразование органического мира. В наземной флоре происходит смена мезозойской растительности на растительность современного облика. На литосферной оболочке суши сформировался почвенный покров.

Таким образом, в процессе эволюции биосферы большая роль принадлежит болотному почвообразованию. И болота приняли огромное участие в глобальной биосферной функции – формировании кислородсодержащего состава газовой оболочки планеты и выходе организмов из водной среды на сушу. Образно говоря, современный мир вышел из древнего океана и древних болот, одновременно участвуя в формировании газового состава атмосферы.

В части современных болот, их распространения и развития из истории Земли наиболее интересен современный отрезок четвертичного периода кайнозойской эры продолжительностью до 10–12 тысяч лет – голоцен, который следует за Сартанским оледенением с климатическим периодом 10500–22000 лет назад. Именно в этот период вновь началось формирование болот и этот процесс принял необратимый характер, направленный на усиление гомеостатического механизма, что обеспечивает устойчивое развитие и сохранение болотных систем как особого типа биогеоценологического покрова Земли.

Однако до настоящего времени генетически единый торфяной профиль до подстилающей породы с фиксированной историей его развития делится почвоведом на две части: торфяная почва не глубже 1 м и далее органогенная порода. И это положение легло в основу современной классификации почв органогенного ствола [4]. Следуя генетическим принципам почвоведения В.В. Докучаева, за торфяные почвы важно принять весь торфяной профиль, превышающий 30 см, включая верхний слой почвообразующей минеральной породы. Весь торфяной профиль до подстилающих пород – субаквальная, инситная система со знаком минус (направлена вверх). Минеральная древняя почва служит почвообразующей породой для нарастающего вверх профиля торфяных почв с образовавшейся уже зоной функционирования (зона, охваченная потоками вещества и энергии). Поэтому верхний горизонт торфяных почв соответствует современным условиям, нижний – предшествующим стадиям развития. Органическая и минеральная часть торфяных почв – субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный профиль с фиксированной в нем историей их развития.

Литература

1. Бахнов В. К. Почвообразование (взгляд в прошлое и настоящее). – Новосибирск : Изд-во СО РАН. – 2002. – 117 с.
2. Вомперский С. Э. Биосферное значение болот в углеродном цикле // Природа. – 1994. – № 7. – С. 44–50.
3. Инишева Л. И. Торфяные почвы: их генезис и классификация // Почвоведение. – 2006. – № 7. – С. 781–786.
4. Классификация и диагностика почв России / Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
5. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России / под ред. Л. И. Инишевой. – Томск : ЦНТИ, 2005. – 76 с.

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И ЛЁССОНАКОПЛЕНИЯ В ПРИАЗОВЬЕ В СРЕДНЕМ И ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Калинин П.И.¹, Кудреватых И.Ю.¹, Занина О.Г.¹, Панин П.Г.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, Россия, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2, корп. 2, e-mail: kalinin331@rambler.ru

²Институт Географии РАН, 119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 29, e-mail: pgpanin@igras.ru

Изучен лёссово-почвенный разрез Чумбур-Коса, мощностью 16 м, расположенный в южной части Таганрогского залива вблизи одноименного хутора (46°58' N, 39°01' E). Современная почва (Hol) в разрезе представлена черноземом обыкновенным (Chernozem Pachic) [2], ниже вскрыты ржакинская межледниковая палеопочва (RZH) и четыре педокомплекса (ПК): воронский (VR), инжавинский (INZH), каменский (КАМ) и мезинский (MZ). Педокомплексы отделяются четырьмя горизонтами лёссов: окским (Ok), борисоглебским (Bor), днепровским (Dn) и валдайским (Val). Стратиграфическое расчленение разреза Чумбур-Коса приведено в соответствии с хроностратиграфической схемой Восточно-Европейской равнины [1].

В результате комплексного анализа лёссово-почвенной серии разреза Чумбур-Коса с применением палеопочвенных, литологических и палеоботанических методов были реконструированы условия лёссо- и почвообразования в Приазовье в плейстоцене.

С помощью фитолиитного 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 500 мм/год), нарастала ксерофитизация растительных сообществ, снижался уровень биопродуктивности и ландшафтного разнообразия. Из-за поднятия уровня грунтовых вод в межледниковые периоды активизировались локальные процессы гидроморфизма, результатом было широкое развитие тростниковых сообществ. В ледниковые периоды среднее годовое количество атмосферных осадков уменьшалось до 200–300 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.

С помощью ЕММА – моделирования гранулометрического состава мы находим свидетельства того, что во время максимального развития покровного оледенения в среднем плейстоцене над ледником мог формироваться блокирующий антициклон, препятствующий активному про-

никновению воздушных масс из Атлантики и Сибири. Внутри антициклона существовали холодные и сухие условия, при которых дистальный ледниковый алеврит переносился на юг высотными региональными ветрами. В МИС 2-3 исчезновение блокирующего антициклона привело к формированию современного режима атмосферной циркуляции на юге Восточно-Европейской равнины, определяющейся конкуренцией Североатлантического циклона и Сибирского антициклона.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-27-00145).

Литература

1. Величко А.А., Морозова Т.Д. Основные черты почвообразования в плейстоцене на восточно-европейской равнине и их палеогеографическая интерпретация // Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. С. 321–337.
2. Panin P.G., Timireva S.N., Morozova T.D., Kononov Y.M., Velichko A.A. Morphology and micromorphology of the loess-paleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1–MIS 17) // *Catena*. 2018. V. 168. P. 79–101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.032>.

ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ШТАММОВ СПОРООБРАЗУЮЩИХ БАЦИЛЛ ИЗ ГРУНТА СРЕДНЕВЕКОВЫХ ПОГРЕБАЛЬНЫХ СОСУДОВ АЛАНСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Каширская Н.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Московская область, г. Пущино, ул. Институтская 2, nkashirskaya81@gmail.com

Химические и микробиологические свойства грунта из заполнения древних погребальных сосудов исследуются для реконструкции заупокойной пищи и выявления особенностей погребального обряда [1, 4] При этом грунт, заполняющий погребальные сосуды, может быть источником получения новых биотехнологически значимых штаммов микроорганизмов. Целью настоящей работы было выделение спорообразующих бацилл, перспективных для нужд биотехнологии, из грунта средневековых погребальных сосудов аланской культуры (курганная могила «Братские 1-е курганы», III–IV вв. н.э.). Для выделения чистых культур бактерий грунт со дна сосудов помещали в питательный бульон Elliker, герметично закрывали в пробирках и оставляли на двое суток при температуре +38 °С. Затем, каплю бульона наносили на чашки Петри с томатно-соковым агаром (ТСА). Культуры выращивали при температуре +38 °С в анаэробе в трех вариантах: в присутствии газогенерирующих пакетов «анаэрогаз» при 6% и 24 % CO₂, а также в присутствии лимонной кислоты и соды, при > 10% углекислого газа, без поглощения кислорода. В присутствии 6% CO₂ были получены смешанные культуры кокков и спорообразующих бацилл. В присутствии 24% CO₂ из миски детского погребения были выделены спорообразующие бациллы, а в кувшинах из семейного погребения преобладал *Clostridium botulinum* – возбудитель пищевого ботулизма, определенный нами по характерной морфологии клеток. При использовании смеси лимонной кислоты и соды, были получены смешанные культуры спорообразующих бацилл. После трехкратного пересева все культуры были чистыми; их таксономическая идентификация проводилась в ЦКП «Биоинженерия» ФИЦ Биотехнологии РАН (г. Москва), путем анализа последовательности гена, кодирующего 16s р-РНК.

Образец из миски, найденной в детском погребении, относится к роду *Bacillus* и наиболее близок к типовому штамму *Bacillus licheniformis strain DSM 13 (NR_118996.1)* с уровнем сходства 99.87%. Новый штамм из мужского кувшина, найденного в семейном погребении, также относится к роду *Bacillus* и наиболее близок к типовым штаммам *Bacillus paranthracis strain MCCC 1A00395 (NR_157728.1)* и *Bacillus toyonensis strain BCT-7112 (NR_121761.1)* с уровнем сходства 99.93% Образец из кувшина-подношения, найденного у входа в семейное погребение, относится к роду *Heyndrickxia* и наиболее близок к типовому штамму *Heyndrickxia coagulans DSM 1 = ATCC 7050(NR_115727.1)* с уровнем сходства 99.14%. *Bacillus licheniformis* – одна из наиболее характерных грамположительных бактерий в пищевой промышленности. Штаммы

Bacillus licheniformis используются при изготовлении продуктов с пробиотическими свойствами, а также при очистке отходов производства продуктов питания [3]. Некоторые штаммы *B. licheniformis* улучшают прорастание семян кукурузы, снижают рост грибковых и бактериальных патогенов [5], используются в производстве щелочной протеазы [10], сериновых протеаз, таких как субтилизин, и антибиотиков, таких как бацитрацин [11]. При этом *B. licheniformis* можно рассматривать и в качестве пробиотика, эффективного при смягчении негативных последствий антибиотиков [12]. Штаммы *B. paranthracis* содержат гены, связанные с активностью целлюлазы, амилазы и пектиназы [8], устойчивостью к кислотам и солям желчных кислот, синтезом бактериоцинов, таких как соноренсин [2]. Известны штаммы *Bacillus toyonensis*, способные разлагать поливинилхлорид [9] и бороться с фузариозными инфекциями растений [7]. Последние исследования штаммов *Heyndrickxia coagulans* показали, что эти микроорганизмы не только борются с кишечными инфекциями, но и активируют иммунитет, снижают противовоспалительные эффекты, развивают устойчивость к вирусной инфекции и ОРВИ [6].

Таким образом, выделенные нами штаммы спорообразующих бактерий позволяют рассматривать погребальные сосуды в качестве важного источника биотехнологически значимых микроорганизмов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, грант 22-68-00010.

Литература

1. Плеханова Л. Н., Удальцов С. Н., Каширская Н. Н. Опыт восстановления состава погребальной пищи по грунтам древних сосудов лесной зоны //Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения. – 2023. – С. 154-156.
2. Diale M. O., Kayitesi E., Serepa-Dlamini M. H. Genome in silico and in vitro analysis of the probiotic properties of a bacterial endophyte, *Bacillus paranthracis* strain MHSD3 //Frontiers in Genetics. – 2021. – Т. 12. – С. 672149.
3. He, H., Yu, Q., Ding, Z., Zhang, L., Shi, G., & Li, Y. Biotechnological and food synthetic biology potential of platform strain: *Bacillus licheniformis* //Synthetic and Systems Biotechnology. – 2023. – Т. 8. – №. 2. – С. 281-291.
4. Kashirskaya, N. N., Chernysheva, E. V., Udaltsov, S. N., & Plekhanova, L. N. Lipase and esterase activity in soils from ancient burial vessels //Biophysics. – 2023. – Т. 68. – №. 6. – С. 996-1003.
5. Medison, R. G., Jiang, J., Medison, M. B., Tan, L. T., Kayange, C. D., Sun, Z., & Zhou, Y. Evaluating the potential of *Bacillus licheniformis* YZCUO202005 isolated from lichens in maize growth promotion and biocontrol //Heliyon. – 2023. – Т. 9. – №. 10.
6. Shaikh S. S., Kumar S. Role of *Bacillus coagulans* (*Heyndrickxia coagulans*) BCP92 in managing irritable bowel syndrome: A randomized, double-blind, multicenter, placebo-controlled clinical trial //Medicine. – 2024. – Т. 103. – №. 31. – С. e39134.
7. Shin, J. H., Lee, H. K., Lee, S. C., & Han, Y. K. (2023). Biological Control of *Fusarium oxysporum*, the Causal Agent of *Fusarium* Basal Rot in Onion by *Bacillus* spp //The Plant Pathology Journal. – 2023. – Т. 39. – №. 6. – С. 600.
8. Tshisikhawe M. L. Tshisikhawe, M. L., Diale, M. O., Abrahams, A. M., & Serepa-Dlamini, M. H. Screening and Production of Industrially Relevant Enzymes by *Bacillus paranthracis* Strain MHDS3, a Potential Probiotic //Fermentation. – 2023. – Т. 9. – №. 11. – С. 938.
9. Wang, D., Yu, H., Liu, X., Sun, L., Liu, X., Hu, R., ... & Xie, Z. The Complete Genome Sequence of *Bacillus toyonensis* Cbmb3 with Polyvinyl Chloride-Degrading Properties //Journal of Xenobiotics. – 2024. – Т. 14. – №. 1. – С. 295-307.
10. Zhang, Y., Hu, J., Zhang, Q., Cai, D., Chen, S., & Wang, Y. Enhancement of alkaline protease production in recombinant *Bacillus licheniformis* by response surface methodology //Bioresources and Bioprocessing. – 2023. – Т. 10. – №. 1. – С. 27.
11. Zhu, J., Liu, M., Kang, J., Wang, S., Zha, Z., Zhan, Y., ... & Chen, S. Engineering *Bacillus licheniformis* as industrial chassis for efficient bioproduction from starch //Bioresource Technology. – 2024. – Т. 406. – С. 131061.
12. Zeng, Z., Yue, W., Kined, C., Wang, P., Liu, R., Liu, J., & Chen, X. *Bacillus licheniformis* reverses the environmental ceftriaxone sodium-induced gut microbial dysbiosis and intestinal inflammation in mice //Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2023. – Т. 257. – С. 114890.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРНОГО СЛОЯ ПОСЕЛЕНИЯ ДЖАРГАН-КАЯ (XIV–X ВВ. ДО Н.Э.)

Каширская Н.Н.¹, Давыдова А.А.².

1 – Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская 2, nkashirskaya81@gmail.com

2 – Тульский Государственный Университет, г. Тула, проспект Ленина, д. 92

Важной задачей археологии является выявление назначения построек на территории древних поселений [1]. Для решения этой задачи разработан комплекс методов, включающий оценку содержания органического и минерального фосфора в культурном слое и оценку его биологической активности по численности микробных групп, связанных с деятельностью человека [2]. Использование комплексного подхода позволяет делать надежные реконструкции палеоэкологических условий и дает представление о влиянии природной среды на развитие древних обществ [5].

Целью нашей работы было оценить биологическую активность культурного слоя поселения Джарган-Кая (XIV–X вв. до н.э.), расположенного в северо-восточной части Керченского полуострова. На поселении было исследовано два шурфа. Шурф 1 располагался в центральной части крупной постройки и включал на глубине 60–95 см классический вариант культурного слоя скотного загона. Шурф 2 был заложен в центральной части жилого помещения; здесь был очаг и хозяйственная яма рядом с ним.

Максимальное содержание фосфора было обнаружено в культурном слое шурфа 2, на территории жилой постройки. На глубине 50–60 см содержание валового фосфора составляло более 10 мг P₂O₅ / г почвы. Почти весь фосфор присутствовал в минеральной форме. Он мог накапливаться в составе органического вещества, но со временем был минерализован. Здесь же, на глубине 60–80 см, была выявлена высокая численность сапротрофных бактерий – более 20 млн КОЕ / г почвы, что сопоставимо с данными по содержанию фосфора, в минерализации которого эти бактерии участвовали. На территории загона, в культурном слое на той же глубине, численность сапротрофных бактерий была в 2 раза ниже, чем на территории жилища. Максимальная численность кератинофильных грибов – более 10 тыс. КОЕ / г почвы – также была выявлена на территории жилища, на глубине 60–80 см.

Для культивирования сапротрофных микроорганизмов, не растущих при стандартном посеве, проводилась активация микробного сообщества культурного слоя пируватом натрия и индолил-3-уксусной кислотой (рис. 1). Последний вариант позволил увеличить численность сапротрофных бактерий в слое 60–80 см шурфа 2 до значений, в 3 раза превышающих фоновые показатели. При этом разнообразие растущих активированных микроорганизмов значительно уменьшилось по сравнению с результатами посева без активации; было выявлено множество однотипных колоний, которые были выделены в чистую культуру. Таксономическая идентификация этих бактерий позволила установить, что выделенный штамм относится к роду *Acinetobacter*

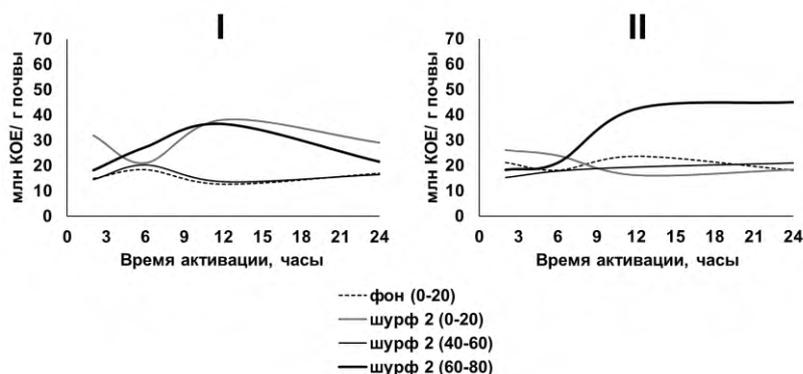


Рис. 1. Численность сапротрофных бактерий, растущих на среде ГПД, после активации микробного сообщества почвы пируватом натрия (I) и индолил-3-уксусной кислотой (II).

и наиболее близок к типовому штамму *Acinetobacter calcoaceticus strain ATCC 23055 (NR_117619.1)* с уровнем сходства 99.20%. Чрезвычайно разнообразный род *Acinetobacter* включает более 50 видов непигментированных, грамотрицательных, коккобацилл; наиболее часто, наряду с *A. calcoaceticus* встречаются *A. baumannii* и *A. lwoffii* [6]. Бактерии рода *Acinetobacter* являются частью нормальной микрофлоры кожи, слизистых оболочек, глотки, пищеварительного тракта и дыхательных путей человека, однако в последнее время они выделены в группу новых опасных внутрибольничных патогенов [4]. Это происходит из-за роста их множественной устойчивости к антибиотикам [3].

Таким образом, нами было выявлено, что малая постройка на поселении Джарган Кая интенсивно использовалась в быту. Об этом свидетельствует обилие *Acinetobacter calcoaceticus* в культурном слое этого жилого помещения. В то же время, на территории большого загона для скота накопление органического вещества не было выявлено по микробному следу. Вероятно, навоз не накапливался в большом загоне, а использовался для отопления малых жилых помещений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант 22-68-00010

Литература

1. Плеханова Л.Н. Возможности палеопочвенного изучения археологических поселений при плоскостных отборах культурного слоя // Геоархеология и археологическая минералогия. 2024. Т. 11. С. 17-22.
2. Borisov, A. V., Goroshnikov, A. A., Kashirskaya, N. N., Mimokhod, R. A., Pinsky, V. N., Potapova, A. V., & Smekalova, T. N. Pochvenno-mikrobiologicheskie podhody k rekonstruktsii naznacheniya postroek na drevnih poseleniyah [Soil Microbiological Approaches to Reconstruction of the Purpose of Ancient Settlements Construction] //Nizhnevolzhskiy Arkheologicheskiy Vestnik. – 2023. – С. 10-35.
3. Glover J. S., Ticer T. D., Engevik M. A. Profiling antibiotic resistance in *Acinetobacter calcoaceticus* //Antibiotics. – 2022. – Т. 11. – №. 7. – С. 978.
4. Kamolovit, W., Higgins, P. G., Paterson, D. L., & Seifert, H. Multiplex PCR to detect the genes encoding naturally occurring oxacillinases in *Acinetobacter* spp //Journal of Antimicrobial Chemotherapy. – 2014. – Т. 69. – №. 4. – С. 959-963.
5. Krivosheev M. V., Borisov A. V. Paleoekologicheskie usloviya finala sarmatskoy epohi i ih vliyaniya na obshchestva skotovodov i zemledel'cev Vostochnoy Evropy i Zapadnoy Sibiri [Paleoecological Conditions at the End of the Sarmatian Period and Their Impact on Herder and Farmer Communities from Eastern Europe and Western Siberia] //Nizhnevolzhskiy Arkheologicheskiy Vestnik. – 2023. – С. 112-125.
6. Thomsen, J., Abdulrazzaq, N. M., AlRand, H., UAE AMR Surveillance Consortium, Everett, D. B., Senok, A., ... & Ayoub Moubareck, C. Epidemiology and antimicrobial resistance trends of *Acinetobacter* species in the United Arab Emirates: a retrospective analysis of 12 years of national AMR surveillance data //Frontiers in Public Health. – 2024. – Т. 11. – С. 1245131.

СЛИТОГЕНЕЗ И КРИОГЕНЕЗ: ТОЧКИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

Ковда И.В.¹, Рябуха А.Г.², Поляков Д.Г.²

¹ – ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
Пыжевский пер., 7, Москва, e-mail: ikovda@mail.ru

² – Институт степи ОФИЦ УрО РАН

Активное изучение вертисолой началось в 60-х годах XX в. В. А. Ковда в определенной степени стоял у истоков этих работ в нашей стране, инициируя или содействуя изучению слитых почв и вертисолой в 60-х-80-х годах сотрудниками Института почвоведения и агрохимии АН СССР, факультета почвоведения МГУ, Почвенного института им. В.В. Докучаева. Эти работы хорошо известны и стали основой для дальнейшего изучения вертисолой в России [1,4,7].

За прошедшее время представления о вертисолях существенно расширились и дополнились: обнаружены новые регионы их распространения, изменились представления об их генезисе, географии, свойствах, механизмах функционирования [3, 8].

Отдельные работы, в которых отмечалось сходство некоторых морфологических признаков вертисолей и криосолей появились давно [9,10]. Идея систематического анализа морфологических признаков вертисолей и криогенных почв глинистого состава была реализована после обнаружения признаков слитогенеза в глинистых почвах районов современной островной мерзлоты в Бурятии [11].

Другой вариант соприкосновения и непосредственного сочетания криогенеза и слитогенеза был обнаружен в Приуралье и Зауралье. Запланированные исследования на объектах с микрорельефом и крупными трещинами на поверхности с целью выявления в Оренбургской области вертисолей или вертикальных почв обнаружили почвы с выраженными криогенными признаками [5,6]. В том числе были обнаружены погребенные почвы с наложением криоморфных признаков (псевдоморфоз по грунтовым жилам, постшлировой структуры и др.) на погребенные слитые почвы, характеризующиеся глинистым монтмориллонитовым составом, наличием сликенсайдов, клиновидной или параллелепипедной структуры.

Анализ морфологических признаков на разных уровнях организации показал, что практически все признаки, свойственные вертисолям и связываемые со слитогенезом, можно обнаружить в криоморфных почвах глинистого состава [2]. К таким признакам относятся микрорельеф и комплексный почвенный покров, мозаичное строение профиля за счет внедрений (интрузий) нижележащего материала к поверхности, трещиноватость, угловатая или клиновидная оструктуренность. Особенно сильное сходство отмечается на микроуровне в виде таких микропризнаков как микроагрегированность, микрзональность, угловато-блоковая структура, ооиды, поры-трещины, оптическая ориентация глинистых частиц, сортировка крупнозема и др.

Это позволяет по-новому взглянуть на некоторые признаки вертисолей, в частности на интрузии (диапиры) и микрорельеф. Их наличие в криогенных почвах указывает, что и в вертисолях эти признаки связаны не столько с минералогическим составом, сколько с физическими процессами иссушения и давления, движущий механизм которых может быть связан как с иссушением, так и с промерзанием.

Таким образом в полигенетичных почвах со сложной историей развития или в погребенных почвах возможны ситуации неоднозначной интерпретации, приводящие к недооценке морфологических признаков криогенеза в пользу слитогенеза и наоборот. Такие примеры сочетания вертикальных и криогенных признаков помимо Бурятии и Оренбургской области встречались также в погребенных почвах в Курской области, современной почве Прикаспийской низменности. Предположительно такие сочетания могут быть более широко распространены в почвах перигляциальной зоны, а также на территориях деградации мерзлоты, в частности на юге Сибири и Дальнего Востока.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева № 0439-2022-0013 и темы ОФИЦ УрОРАН № АААА-А 21-121011190016-1.

Литература

1. Быстрицкая Т.Л., Тюрюканов А.Н. Черные слитые почвы Евразии. М.: Наука. 1971. 256 с.
2. Ковда И.В. Общие признаки в мерзлотных и слитых почвах на макро- и микроуровне // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1201-1214. DOI: [10.31857/S0032180X22100082](https://doi.org/10.31857/S0032180X22100082)
3. Ковда И.В., Уалдинг Л.П. Вертисоли: проблемы классификации, эволюции и пространственной самоорганизации // Почвоведение. 2004. № 12. С. 1507-1518.
4. Корнблюм Э.А., Козловский Ф.И. Слитые почвы Волго-Ахтубинской поймы как аналог черных слитых почв тропиков и субтропиков. География и классификация почв Азии. М.: Наука. 1965. С. 165-178.
5. Поляков Д.Г., Рябуха А.Г., Ковда И.В. 2021. Почвы древних кор выветривания Зауральского пенепплена // Тез. Докл 8 съезда почвоведов, Сыктывкар 2020-2022, часть 3. С. 461-462
6. Поляков Д.Г., Ковда И.В., Рябуха А.Г. Почвы меловых полигонов Подуральского плато: морфология, свойства и классификация // Почвоведение. 2024. С.
7. Слитоземы и слитые почвы (Под ред. Е.М.Самойловой) М.: Изд-во МГУ. 1990. 142 с.

8. Хитров Н.Б., Калинина Н.В., Роговнева Л.В., Рухович Д.И. Слитоземы и слитизированные почвы России. М.: ИД Академии Жуковского. 2020. 516 с.
9. Costin A.B. A note on gilgaies and frost soils // J. Soil Sci. 1955. V. 6. P. 32–34.
10. Kabala C., Plonka T., Przekora A. Vertic properties and gilgai-related subsurface features in soils of southwestern Poland // Catena. 2015. V. 128. P. 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.025>
11. Kovda I., Goryachkin S., Lebedeva M., Chizhikova N., Kulikov A., Badmaev N., Vertic soils and Vertisols in cryogenic environments of southern Siberia, Russia. // Geoderma. 2017. V. 288. P. 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.008>

О РОЛИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В ФОРМИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Корж В.Д.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Москва, Нахимовский проспект, 36
E-mail: okean41@mail.ru

Основатель биогеохимии В.И. Вернадский отмечал: «...Живое вещество *охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы. Они все нужны для жизни* и все попадают в состав организма *не случайно*. Нет особых, жизни свойственных элементов. Есть господствующие. ... *Жизнь есть планетное явление* и определяет основным образом химизм, миграцию химических элементов верхней земной оболочки – биосферы, *миграцию всех химических элементов*» [1].

«Организм и среда, в частности геохимическая, — настолько зависимые явления в биосфере, что рассматривать отдельно эволюцию жизни и эволюцию среды невозможно. Это единая система, в которой в процессах ее существования вырабатываются характерные приспособления организмов к среде, входящие в число фенотипических реакций, обогащающих систему жизнь — среда. В этой системе устанавливаются глубокие метаболические связи по отношению к геохимическим факторам среды. Примером может служить выделение в почвенную среду органических веществ, которые дают координационные соединения с химическими элементами среды вне организма, в которых химические элементы (металлы, микроэлементы) приобретают активность в процессах проникновения через клеточные мембраны и в последующих превращениях в звеньях биогенного круговорота» [2]. Труды Ковальского убедительно свидетельствуют о том, что живые организмы не только приспосабливаются к среде, как это хорошо известно со времен Дарвина, но и активно влияют на химический состав и агрегатное состояние среды обитания в соответствии со своими биогеохимическими потребностями.

Автор представленной работы развивает концепцию, согласно которой совокупность всех живых организмов - «живое вещество» обладает способностью целенаправленно влиять на формирование и функционирование среды обитания в глобальном масштабе. Данная работа посвящена изучению роли живого вещества в формировании элементного состава гидросферы и твердого покрова Земли. Изучена динамика глобального процесса переноса химических элементов в системе океан-атмосфера-континент-океан [3-7]. Живое вещество является активным участником этого процесса. В результате метаболических процессов живое вещество постоянно создает и постоянно поддерживает повышенную концентрацию микроэлементов в среде своего обитания. Биоценоз гидросферы инициирует увеличение растворимых форм микроэлементов в среде своего обитания. Биоценоз суши целенаправленно переводит растворимые формы микроэлементов в нерастворимые для создания благоприятных условий жизни. Иными словами, действует в противоположном направлении. Установлены нелинейные закономерности процессов перераспределения средних элементных составов в биосфере между жидкой и твердой фазами (система гидросфера-литосфера). Установлены универсальные константы нелинейности этих процессов в биосфере (0,67-0,7) [3-7]. **Эти константы свидетельствуют о нормальном функционировании биосферы как целостной системы, обладающей субъектностью. Константы являются результатом длительного процесса эволюции живого вещества и оптимизации**

его взаимодействия с окружающей средой. Их следует использовать в качестве экологических (environmental) стандартов. Нарушение этих констант в результате антропогенного воздействия на естественные биогеохимические процессы неизбежно приведет к необратимым катастрофическим, практически неразрешимым, экологическим проблемам глобального масштаба.

Литература

1. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т.5. М.: Академия наук СССР. 1960. 422 с.
2. Ковальский, В. В. 1982. Геохимическая среда и жизнь. М.: Наука. 77 с.
3. Korzh V.D. Some general laws governing the turnover of substance within the ocean-atmosphere-continent-ocean cycle. // J. Res. Atmosph. 1974. Vol. 8. N 3-4. P.653-660.
4. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука. 1991. 243 с.
5. Корж В.Д. Общие закономерности формирования элементного состава биосферы. // Ж. Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2006. № 2. С. 15-21.
6. Корж В.Д. Биосфера. Формирование элементных составов гидросферы и литосферы. Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. 2017. 63p.
7. Korzh V.D. Transfer of trace elements in the ocean-atmosphere-continent system as a factor in the formation of the elemental composition of the Earth's soil cover. J. Environmental Geochemistry and Health, 2020, V.42. N.12 P. 4399 - 4405.

ОСОБЕННОСТИ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО ЛЕССОНАКОПЛЕНИЯ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ПРИКАСПИЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Лебедева М.П.¹, Мусаэлян Р.Э.¹, Чурилин Н.А.¹, Макеев А.О.²

¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,
Москва, Пыжевский пер., 7с2. *m_verba@mail.ru*

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1

Эволюция почвенного покрова Прикаспийской низменности имеет длительную историю изучения, что позволяет провести геоморфологическое районирование северо-западной ее части и показать особенности осадконакопления и почвообразования [2, 3, 5]. Выраженный микро, мезо и макрорельеф, а также пестрота почвообразующих пород озерно-лиманной депрессии обусловили комплексность почвенного покрова с формированием солонцов, каштановых и лугово-каштановых почв, эволюция которых связана с изменениями климатических условий разного временного масштаба.

Разнообразие почвообразующих пород Прикаспийской низменности непосредственно связано с колебаниями уровня Каспийского моря, этапами морского и субаэрального накопления осадков, развитием эрозии и с формированием палеопочв, свойства которых отражают динамику природной среды. Минералого-микроморфологические исследования современных почв в опорных разрезах Нижнего Поволжья - Средняя Ахтуба, Райгород и Ленинск показали, что толща нижнехвалынских шоколадных глин (ШГ) может залегать близко к поверхности почв, что существенно влияет на их свойства [9]. ШГ представлены несколькими субфациями (подфациями): а) моноглинистая - неслоистая разность, исключительно глинистого состава с редкими раковинами моллюсков; б) тонкое переслаивание ШГ с песками, часто содержащими обильные включения раковин хвалынских моллюсков; в) чередование пачек моноглинистого состава, слоистых глин и песков, содержащих руководящую фауну хвалынских моллюсков. Для шоколадных глин характерно присутствие разнообразного тонкого терригенного материала преимущественно кварцевого и кварц-полевошпатового состава в алевро-песчаных прослоях.

ШГ в Северном Прикаспии не имеют сплошного распространения. Фациальное разнообразие глин определялось местной спецификой гидрологической обстановки [6]. За последние

100 лет их изучению было посвящено множество работ [4, 7, 8] Полученные в настоящее время даты показывают, что их накопление произошло после LGM, между ~ 17 и ~ 13.1 т.л.н., а наибольшие скорости накопления ШГ приходились на Бёллинг-Аллередский этап (14.7 — 13.2 т.л.н.), когда уровень моря достигал 20-22 м абс. После 12.5 кал. тыс. л. развивалась енотаевская регрессия. На междуречьях в это время отмечается формирование маломощного горизонта лесов с синлитогенным почвообразованием.

Таким образом установлено, что изученные ШГ Нижнего Поволжья целиком укладываются в стратиграфический интервал нижнехвалынских отложений, т.е. накапливались во время максимальной хвалынской трансгрессии, доходящей до территорий с абсолютными высотами 48-50 м. На Волго-Уральском междуречье ШГ описаны ниже - в балках около озера Эльтон (Лисья, 13 абс.м.), нижнехвалынских возраст которых определили по составу моллокофауны [1]. В обнажении Средней Ахтубы граница позднехвалынского этапа (9.10 ± 1.2 т.л.н.) отмечена в каштановой почве на глубине всего 30 см, для Райгорода – 80 см (9.6 ± 0.61 т.л.н.), для Ленинска - 104 см (9.8 ± 0.7 т.л.н.) [4, 8]. На водораздельных поверхностях с высотами 26-28 абс.м почвообразующими породами считаются нижнехвалынские лессовидные суглинки, для которых характерны признаки явной и скрытой слоистости [3]. В перекрывающих ШГ лессовидных суглинках, в толще которых сформированы современные почвы, микроморфологические исследования показали наличие фрагментов ШГ, которые позволяют говорить об их эоловом генезисе с близким источником мобилизации материала. Наличие фрагментов ШГ было выявлено для многих разрезов почв солонцовых комплексов на Джаныбекской бессточной равнине (26-28 м н.у.м.), начиная с 60-90 см. Определение возраста отложений методом OSL между 1 и 2 Гослесополосами на территории Джаныбекского стационара Института Лесоведения РАН показало, что лессовидный суглинок ниже 55 см профиля соответствует возрасту позднехвалынского этапа хвалынской трансгрессии: над ракушечным слоем на глубине 55-65 см возраст 13.7 ± 0.9 т.л. (RGI-1302), в самом слое с ракушками на глубине 65-75 см, - 15.6 ± 1.2 т.л. (RGI-1303), на глубине 130-140 см - 23.7 ± 1.7 т.л. (RGI-1304) и на глубине 170-160 см - 25.2 ± 1.6 т.л. (RGI-1291). В горизонтах почвы с фрагментами ШГ отмечено разное количество обломков раковин моллюсков, наличие которых позволяет говорить, что территория была некоторое время обводнена.

Таким образом, впервые полученные даты для почв Джаныбекской равнины свидетельствуют о накоплении лессовидных суглинков в эпоху деградации осташковского оледенения на Русской равнине. Этот период характеризуется аридным холодным климатом, который и определяет на микроуровне высокую трещиноватость и загипсованность верхних слоев ШГ и высокую криогенную агрегированность как ШГ в обнажениях Волги, так и лессового материала в почвах на Джаныбекском стационаре.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант №21-74-20121.

Литература

1. Брицына М.П. Распространение хвалынских шоколадных глин и некоторые вопросы палеогеографии Северного Прикаспия. На СССР. Тр. Ин-та географии, 1954. Вып.62 с.5-27.
2. Демкин В.А., Иванов И.В. Развитие почв Прикаспийской низменности в голоцене. Пущино, ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1985. 165 с.
3. Ковда В.А. Почвы Прикаспийской низменности (северо-западной части). Изд. АН СССР. М.-Л. 1950. 255с.
4. Макшаев Р.Р., Ткач Н.Т. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования. *Геоморфология и палеогеография*. 2023; 54(1). С. 37-54.
5. Роде А.А., Польский М.Н. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М.: АН СССР. 1961. Т. 56. С. 3 – 214.
6. Свиточ А.А., Макшаев Р.Р. Шоколадные глины Северного Прикаспия (распространение, условия залегания и строение). *Геоморфология*. 2015. № 1. С.101–112.
7. Янина Т.А., Свиточ А.А., Курбанов Р.Н., Мюррей А.С., Ткач Н.Т., Сычев Н.В. Опыт датирования плейстоценовых отложений нижнего Поволжья методом оптически стимулированной люминесценции. *Вест. МГУ. Сер.5. География*. 2017. №1. С. 21-29.

8. Kurbanov, R., Murray, A., Thompson, W., Svistunov, M., Taratunina N. & Yanina, T. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley. *Boreas*. 2020.
9. Lebedeva M. Landscape dynamics in the Caspian lowlands since the last deglaciation reconstructed from the pedosedimentary sequence of Srednaya Akhtuba, southern Russia / Marina Lebedeva, Alexander Makeev, Alexey Rusakov, Tatiana Romanis, Tamara Yanina, Redzhep Kurbanov, Pavel Kust and Evgeniy Varlamov // *GEOSCIENCES*. 2018. Vol. 8, no. 492. P. 1–21.

ФИНАЛЬНЫЙ ЭТАП ЛЕССОНАКОПЛЕНИЯ И ТЕКСТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ПОЧВЫ РУССКОЙ РАВНИНЫ

А. О. Макеев¹, А. В. Русаков², Н.В. Мокиевский¹, М. П. Лебедева³

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения.
makeevao@gmail.com*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле.
spp-06@mail.ru*

³ *Почвенный институт имени В.В. Докучаева. m_verba@mail.ru*

В ледниковых и перигляциальных областях Русской равнины финальный этап осадконакопления выявляется по наличию (супесчано)-пылеватого слоя мощностью 50 – 70 см, формирующего легкую часть текстурно-дифференцированных профилей суглинистых подзолистых почв (в составе горизонтов А, АЕ1, Е1). Поскольку этот маломощный слой полностью входит в состав почвенных профилей, он преобразован почвообразованием, и потому выпадает из рассмотрения при геологической съемке. В то же время, изучение слоев, связанных с заключительными этапами осадконакопления, позволяет реконструировать механизм седиментации и палеогеографическую обстановку времени их отложения. Наличие этого слоя во многом определяет характер текстурной дифференциации суглинистых подзолистых почв, и потому важно для правильной интерпретации их генезиса.

Выделение отдельного этапа седиментации, сформировавшего верхний легкий слой в составе профиля текстурно-дифференцированных почв связано с рядом сложностей. В ледниковых и перигляциальных областях текстурно-дифференцированные почвы (ТДП) сформированы главным образом на покровных и моренных суглинках. Они выделяются как на литологически однородных, так и на двучленных породах. Критериями литологической неоднородности выступают: соотношение песчано-пылеватых фракций и их литологические различия, устойчивых окислов, резкая смена материала, даже при языковатой границе, резкая разница в содержании ила, различия в составе глинистых минералов, наличие каменистых прослоев на границе легкой и тяжелой частей ТДП и др. [1, 3, 5, 6, 7]. Однако, и на покровных, и на моренных суглинках представлены почвы, как отвечающие, так и не отвечающие тем или иным критериям литологической неоднородности. При этом ареалы почв на литологически однородных и двучленных породах на почвенных картах перемежаются.

Для выделения отдельного этапа седиментации, мы наряду с анализом литологической неоднородности, провели исследование пространственного залегания верхнего слоя текстурно-дифференцированных почв в зонах латерального контакта различных пород: покровных, моренных и озерных суглинков, флювиогляциальных отложений и других пород. Установлено, что в зонах контакта единый (супесчано)-пылеватый слой со сходными морфологическими и аналитическими характеристиками перекрывает различные породы, что подтверждает его отложение в результате отдельного этапа эоловой седиментации.

Установление временных рамок финального этапа лессонакопления затруднено поверхностным залеганием верхнего слоя и его небольшой мощностью. Для датировок мы брали образцы из мерзлотных клиньев и ложбинообразных заполнений в кровле подстилающих пород. Полученные в различных областях перигляциальной зоны последнего оледенения (Ярославская, Владимирская и Тверская области) ОСЛ датировки показывают, что отложение пылеватого слоя происходило в холодных и сухих условиях позднеледниковья (рис. 1).

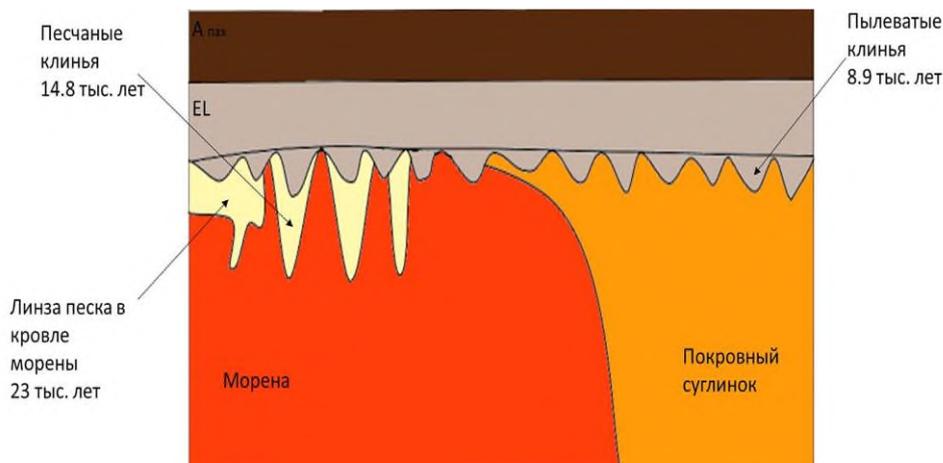


Рис. 1. Перекрытие морены и покровного суглинка эоловым слоем (горизонты Апах, EL) в зоне их контакта (Ростовский район Ярославская область).

Маломощные слои, связанные с заключительным этапом лессовой седиментации описаны и в других регионах. В Центральной и Западной Европе в составе перигляциальных покровных слоев (periglacial cover beds) выделяется верхний лессовый слой (upper layer), имеющий широкое распространение во всей перигляциальной зоне последнего оледенения [4]. Подстиание этого слоя прослоем тефры извержения вулкана Лахер (около 12 ka) указывает на сходное время его формирования в холодных и сухих условиях позднеледниковья. В области последнего оледенения (южная Швеция) также широко распространены маломощные (20–80 см) лессовые слои (surface silts), время отложения которых авторы связывают с периодом усиления эоловой активности в позднеледниковье [2].

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 23-17-00073.

Литература

1. Апарин Б.Ф., Рубилин Е. В. Особенности почвообразования на двучленных породах Северо-Запада Русской равнины. Л., "Наука", 1975, 195 с.
2. Hedeving Anna, Ekström Fanny, Johnson Mark D., Alexanderson Helena, Baykal Yunus, Stevens Thomas. 2024. Thin loess in Southwestern Sweden. GFF, DOI:10.1080/11035897.2024.2326208.
3. IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna.
4. Kleber, A., Terhorst, B. (Eds.). 2013. Mid-Latitude Slope Deposits (Cover Beds). *Developments in Sedimentology*, 66. Elsevier, Amsterdam/Boston/Heidelberg/London/New York/Oxford, p. 302.
5. Kust P., Makeev A., Lessovaia S. et al. 2022. Polygenetic features in Retisols, formed in Moscow (Late Saalian) glacial till // *Catena*. Vol. 214. 106245. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106245>
6. Makeev A., Kust P., Lebedeva M. et al. 2019. Soils in the bipartite sediments within the Moscow glacial limits of the Russian Plain: Sedimentary environment, pedogenesis, paleolandscape implication // *Quaternary International*. Vol. 501. Part A. 147-173. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.09.017>.
7. Muszyfaga, E., Kabała, C., 2015. Lithological discontinuity in glossic Planosols (Albeluvisols) of lower Silesia (SW Poland). *Soil Sci. Annu.* 66, 180-190.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ ФРАКЦИЯМ СТЕПНЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Малышев В.В., Алексеева Т.В., Алексеев А.О.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
г. Пушкино e-mail: vladmalyscheff@yandex.ru

Железо участвует в ряде ключевых почвенных процессов характерных для почв степной зоны, таких как солонцеобразование, гумусонакопление, окислительно-восстановительные ре-

акции и т.д. Распределение железа по профилю почв степной зоны связано с железосодержащими минералами в составе гранулометрических фракций, при этом формирование новообразованных несиликатных форм железа определяется биоклиматическими условиями [1, 3]. Однако остается открытым вопрос о том, какие гранулометрические фракции являются наиболее значимыми носителями железа и как оно в составе этих фракций может преобразовываться в ходе процесса почвообразования. Данная работа направлена на изучение изменений состояния соединений железа во фракциях различного гранулометрического размера степных почв.

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 почвы (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 реакций, гидролиза и других процессов, 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 ферромагнитных минералов. Величина этого прироста определяется биоклиматическими условиями.

Прирост величины магнитной восприимчивости в гумусово-аккумулятивных горизонтах черноземов, каштановых почв и солонцов, определяется формированием в них оксидов железа, частично магнетита [2]. 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 компонентом, 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. Было показано, что от 56 до 71% Fe^{3+} в составе илистой фракции содержится в высокодисперсных гидроокислах в суперпарамагнитном состоянии и в слабоокристаллизованных «свободных» формах соединений железа. В гумусово-аккумулятивных горизонтах степных почв фиксируется сокращение доли Fe^{2+} 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.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 24-24-00244).

Литература

1. Алексеев А.О. Оксидогенез железа в почвах степной зоны / А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева – М.: ГЕОС, 2012.

2. Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Демкин В.А., Алексеева В.А., Соколовская З., Хайнос М., Калинин П.И. Физико-химические и минералогические диагностические признаки солонцового процесса в почвах нижнего Поволжья в позднем голоцене // Почвоведение 2010. № 10 С.1171–1189.
3. Malyshev V.V. Iron Compounds in Steppe Soils of the East-European Plain: Association with Soil Processes, Paleoclimatic Aspects / Malyshev V.V., Alekseev A.O. // Eurasian Soil Science – 2024. – Т. 57 – № 9 – С.1461–1473.

ПАЛЕОКРИОЛИТОПЕДОГЕНЕЗ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОЧВ ЦЕНТРА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ ПО МИКРОРЕЛЬЕФУ

Овчинников А.Ю.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук - обособленное подразделение Федерального исследовательского центра Пущинского научного центра биологических исследований Российской академии наук (ИФХиБПП РАН), г. Пущино, ул. Институтская 2, к.2; e-mail: ovchinnikov_a@inbox.ru

Проблема взаимоотношения почвы и окружающей среды является одной из актуальных в современном почвоведении. Особенно важны исследования, связанные с изучением генезиса почвообразующих пород и сформированных на них почв. Почвообразующие породы современных почв, сформированные в позднем плейстоцене длительное время являются объектом исследования. 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 палеокриогенные признаки и явления, а из них к числу заметно влияющих на голоценовое почвообразование относятся реликтовые полигонально-жильные структуры, формирующие на поверхности палеокриогенный микрорельеф, который на современном этапе определил эволюцию и дифференциацию почв центра Восточно-Европейской равнины. Решение данной проблемы длительное время оставалась и остается актуальной для многих специалистов: А.И. Попова, А.А. Величко, В.П. Нечаева, В.В. Бердникова, В.М. Алифанова, Л.А. Гугалинской, А.О. Макеева, С.А. Сычевой, А.Ю. Овчинникова, О.И. Худякова и других.

В работах В.М. Алифанова (1992, 1995), Л.А. Гугалинской (1997), А.О. Макеева (2005, 2012, 2015) были предложены различные концепции генезиса современных почв и палеопочв лёссовых водоразделов в системе полигонально-блочного и западного микрорельефа. В настоящей работе рассматривается проблема установления связи между длительными во времени процессами криолитопедогенеза позднего плейстоцена и голоцена, сформировавших палеокриогенный микрорельеф, который определил формирование современного почвенного покрова, представленного почвенными микрокомбинациями. В данном случае эволюция и дифференциация почв рассматривается с позиций совокупности процессов и факторов, стартовавших в позднем плейстоцене и заложивших исходную «матрицу» для дальнейших почвообразовательных процессов, но уже в голоцене.

Впервые предлагается концепция криолитопедогенеза, в которой рассматривается совокупность сменяющих друг друга или происходящих одновременно крио-, лито-, педогенных процессов, формирующих почвы и почвенный покров за интервал времени (включающий гляциал и интергляциал). 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 определял разные процессы, сформировав почвообразующие породы и палеокриогенные структуры в них, тем самым создав их литологическую неоднород-

ность, которая в дальнейшем проявилась в неоднородности дневной поверхности в виде микрорельефа. В голоцене факторы времени, климата, микрорельефа и пространственная неоднородность почвообразующих пород определили формирование и дифференциацию почвенного покрова.

Анализ проблемы и собственные результаты многолетних исследований показали, что динамика климата в позднем плейстоцене реализовалась развитием процессов преимущественно криогенеза и литогенеза преобразовав 15-20 тыс. лет назад почвообразующие породы современных почв и создав микрорельеф поверхности. Как оказалось, на территории исследования, располагавшейся в перигляциальной зоне валдайского оледенения от дерново-подзолистых почв Вологодской области до черноземов Воронежской области микрорельеф проявляется в виде полигональной сети, а именно в чередовании блоков-повышений и разделяющих их межблочных понижений. Элементы микрорельефа с продвижением с севера на юг на расстоянии 1200 км приобретают менее выраженные и более сглаженные формы. Диаметр блоков от дерново-подзолистых почв (Вологодская область) до черноземов (Воронежская область) изменяется от 90 м до 10 м, ширина межблочий от 40 м до 5 м, относительные превышения от 2,5 м до десятков сантиметров. Микрорельеф – палеокриогенный, а формирование межблочий связано с образованием криогенных структур в поздневалдайское время при промерзании почвы с последующим их заполнением льдом, суглинком или песком приносимыми с блоков с тальми водами или осыпанием минеральной массы. Палеокриогенные явления, формирующие микрорельеф на разных территориях, имеют разные морфогенетические особенности и представлены: клиньями, серией клиньев, клиньями-карманами, трещинами, сгущениями языков-клиньев, криотурбацией и солифлюкцией. На разных территориях палеокриогенные явления залегают на разной глубине и погребены разным по мощности осадком, однако время их формирования приблизительно одно и то же.

Палеокриогенный микрорельеф, как фактор почвообразования, перераспределяет влагу, минеральную массу и продукты почвообразования с повышенных форм в пониженные, дифференцируя почвы по физическим и химическим показателям на разных его элементах. Показано, что почвы по элементам микрорельефа в разных почвенных зонах представлены разными элементарными почвенными ареалами (ЭПА), различающимися на уровне: тип, подтип, род, вид. Таким образом совокупность данных ЭПА по элементам микрорельефа формирует почвенные комбинации. 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 (ПалеоКриЛито ПК (или ПКЛ ПК))**).

Результаты многолетних исследований показали следующее:

1. Процесс криолитопедогенеза – это единое взаимозависимое развитие трех природных компонентов: участков земной поверхности (палеокриогенный микрорельеф), пород, слагающих эти поверхности, и почв, сформированных на данных породах.

2. 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).

3. Почвенный покров, сформированный на палеокриогенно-преобразованных территориях, представлен двуединым телом (почвы блока и межблочья) взаимосвязанных элементарных почвенных ареалов, формирующих палеокриолитогенные почвенные комбинации (ПалеоКриЛито ПК (или ПКЛ ПК)).

«ЗАТУХАЮЩАЯ ФАЗА» МЕЖЛЕДНИКОВОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ПО ДАННЫМ ЛЁССОВО-ПОЧВЕННЫХ СЕРИЙ ЮГА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Панин П.Г.

Институт географии РАН, Старомонетный пер. 29, г. Москва, pgranin@igras.ru

Поздний плейстоцен - временная эпоха, которой посвящено множество исследований, особенно, в контексте изменения климата прошлого. Одним из основных архивов палеоклимата являются лёссово-почвенные серии (ЛПС), которые широко распространены на территории Восточно-Европейской равнины. Многие исследователи успешно реконструируют строение палеопочв в ЛПС и условия их формирования. В работе рассматриваются палеопочвы мезинского педокомплекса, вскрытые в ЛПС разрезов Беглица-2017 (район северной части Приазовья) [1, 2] и Элиста (Республика Калмыкия) [3]. В разрезе Беглица-2017 мезинский педокомплекс представлен тремя палеопочвами (МИС 5e, 5c и 5a), в разрезе Элиста вскрыта только одна палеопочва МИС 5e. Профили салынской межледниковой палеопочвы (МИС 5e) в обоих разрезах представлены серией горизонтов Ау-АВ-Вк-ВС (разрез Беглица-2017) и А-АВ-ВСку-Су (разрез Элиста), возраст подтвержден ОСЛ датами [2, 3]. При полевом обследовании в палеопочвах каждые 6 см вдоль разреза, сплошным методом, отбирали образцы на физико-химические анализы (гумус по Тюрину, гранулометрический состав, рН, потери при прокаливании и др.). Дополнительно из всех генетических горизонтов производили отбор шtuфов на микроморфологическое обследование. По результатам комплексного анализа было выяснено, что в микулинское межледниковье в Приазовье почвы развивались по типу современных черноземов обыкновенных, когда как в Республике Калмыкия преобладали светло-каштановые почвы.

В разрезе Элиста профиль салынской палеопочвы пронизан гипсовыми конкрециями, в разрезе Беглица-2017 эти новообразования отмечены в приповерхностных горизонтах палеопочвы. Предположительно их генезис связан не только с диагенезом покрывающих палеопочву отложений, но и с постепенным затуханием межледникового почвообразования под воздействием усиления аридизации климата. Наличие в макропорах белесого материала, окаймляющие их стенки, подтверждает предположение о поднятии карбонатного материала и доминировании в палеопочвах выпотного водного режима. Размеры гипсовых конкреций в обоих разрезах схожи, их диаметр не превышает 5 см, но их формы различны. Из-за тяжелого гранулометрического состава ЛПС Приазовья и повышенного количества осадков в позднем плейстоцене в этом районе, способствуют образованию трещин усыхания, в которых формируются ромбоидальные кристаллы гипса. В ЛПС разреза Элиста, трещины единичны, в микростроение преобладают в основном круглые или овальные поры, формы которых как раз и принимают новообразования гипса. Таким образом, в результате постепенного изменения климата, межледниковое почвообразование затухает, и основные почвенные процессы протекают в приповерхностных гумусированных горизонтах палеопочв, что приводит к изменению гранулометрического состава и аккумуляции новообразований гипса с карбонатами.

Литература

1. Панин П.Г., Бухонов А.В., Калинин П.И. Физико-химические параметры разреза "Беглица-2017" лёссово-почвенной серии Приазовья. База данных RU 2024621391, ИГРАН, 2024.
2. Panin P.G., Kalinin P., Filippova K., Sychev N., Bukhonov A. Paleo-pedological record in loess deposits in the south of the East European Plain, based on Beglitsa-2017 section study // *Geoderma* 437, 2023, 116567. 2.
3. Panin P., Kalinin P., Konstantinov E., Sychev N. New Data on Late Pleistocene Paleosols Found in the Loess-Paleosol Sequence of the Elista Section (Republic of Kalmykia). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4928762>, 2024.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ВНУТРИГОРНОГО ДАГЕСТАНА ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫПАСА

Пинской В. Н.^а, Кутузова Е. А.^б, Шаев И. А.^а

^аИнститут физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская, 2, Пущино, 142290 Россия; e-mail: pinskoy@inbox.ru

^бТульский государственный университет, Естественнонаучный институт, кафедра биологии,
Проспект Ленина, 92, Тула, 300600 Россия

В восточной части известнякового Дагестана было проведено исследование почв в зонах умеренного (**УВ**) и интенсивного (**ИВ**) выпаса на склонах северной и южной экспозиций. Объекты расположены на северо-западе от села Мекеги Левашинского района Республики Дагестан. Абсолютная высота 1620-1660 м, крутизна склонов достигает 20°, почвообразующая порода – элюво-делювий рыхлых известняков верхнемелового периода.

Тип почв на склонах северной и южной экспозиций под умеренным выпасом не различался – *перегнойно-темногумусовые почвы*. Интенсивный выпас повлиял на изменение типовой принадлежности почв, где на склоне северной экспозиции сформировались *темногумусовые аграрированные почвы* со слабой дерниной, а на склоне южной экспозиции – *литоземы темногумусовые* с высокой скелетностью и фрагментарной дерниной.

Механическое воздействие копытных животных в зоне интенсивного выпаса (**ИВ**) не повлияло на уплотнение и утяжеление гранулометрического состава почв, вероятно это связано с их высокой скелетностью. На всех объектах отмечены легкосуглинистые почвы с поверхности и среднесуглинистые в более глубоких слоях. Значение рН в почвах варьировало в пределах 7.1-7.5 (в редких случаях выше). Содержание карбонатов менее 1%. Исключением являлись почвы под интенсивным выпасом на склоне южной экспозиции, где значения рН и содержание карбонатов были максимальными.

Влияние интенсивного выпаса более значимо выразилось на содержании органического углерода и величине микробной биомассы. На склоне северной экспозиции содержание $C_{орг}$ в зоне интенсивного выпаса незначительно увеличилось, в то время как на южном склоне этот показатель снизился на треть. Как и в случае с содержанием органического углерода, $C_{мик}$ рассчитанный биокинетическим фракционированием ($C_{мик-БКФ}$) был выше в почвах на склоне южной экспозиции в условиях умеренного выпаса (**УВ**). В то же время, интенсивный выпас повлиял на снижение микробной биомассы на обоих склонах, значительнее это проявилось на южном склоне (практически в 2 раза). Аналогичная ситуация наблюдалась и при скорости выделения $C-CO_2$, рассчитанного методом базального дыхания.

Активность ферментов также значительно варьировалась в почвах с различной интенсивностью выпаса. Активность щелочной фосфатазы в верхнем слое почв склона северной экспозиции увеличивалась в 2 раза в условиях интенсивного выпаса, в то время как на южном склоне наоборот, уменьшалась. В случае с активностью фермента уреазы интенсивный выпас меняет картину на обратную: активность фермента увеличивается в почвах **ИВ** на обоих склонах, наиболее значительнее это проявляется на склоне южной экспозиции (839 мкг N-NH₄/г/2ч). В результате интенсивного выпаса было отмечено общее угнетение фитомассы, вероятно это повлияло на снижение активности β-глюкозидазы в почвах на различных склонах, существеннее это отразилось на склоне северной экспозиции.

Изменения биомассы грибного мицелия (**БГМ**) имели обратную тенденцию. Здесь, в почвах в условиях интенсивного выпаса, отмечено возрастание **БГМ** на обоих склонах. В случае с склоном южной экспозиции **БГМ** возросла в 1.7 раза, в то время как на северном склоне более чем в 2 раза (224 мг /100 г почвы).

Кумулятивное выделение $C-CO_2$ определяли на газовом хроматографе «Кристалл Люкс-4000м» за период 185 суток. На склоне северной экспозиции интенсивный выпас повлиял на увеличение суммарного количества выделившегося $C-CO_2$ (450 мг $C-CO_2$ /100 г почвы), эта раз-

ница составила 1.5 раза. Величина кумулятивного продуцирования CO₂ на южном склоне в почвах в условиях интенсивного выпаса наоборот, характеризовалась наименьшими значениями (менее 150 мг C-CO₂, мл/100 г почвы). По-видимому, чрезмерный выпас и высокая интенсивность минерализационной способности почв повлияла на уменьшение углерода активных пулов.

Функциональное состояние почвенного органического вещества (ПОВ) в условиях разного интенсивного выпаса оценивалось методом биокинетического фракционирования. В состав активных пулов вошли: потенциально минерализуемый углерод (C₀), легко минерализуемый углерод (C₁), умеренно минерализуемый углерод (C₂), трудно минерализуемый углерод (C₃). Установлено, что все вышеперечисленные фракции были обнаружены только в почвах при УВ на склоне северной экспозиции, в остальных случаях умеренно минерализуемый углерод отсутствовал.

На склоне южной экспозиции во всех фракциях минерализации содержание углерода снижалось, как и в случае с содержанием C_{орг}. Иная ситуация обнаружена в случае с северным склоном. Здесь содержание потенциально минерализуемого и трудноминерализуемого углерода увеличивалось. В случае с легко минерализуемым углеродом (C₁) наиболее значимое увеличение в минерализационной способности было отмечено в почвенном слое 10–20 см, где разница была трехкратной.

Таким образом, рассмотрев физико-химические свойства почв, содержание органического углерода, величины микробной биомассы, ферментативной активности, а также соотношение различных фракций органического углерода почв горных пастбищ Восточного Кавказа в условиях умеренного и интенсивного выпаса можно констатировать, что интенсивный выпас оказывает значительное влияние на весь спектр вышеуказанных показателей. Перевыпас оказывает различное воздействие на почвы склонов северной и южной экспозиций. На южном склоне выпас приводит к уменьшению содержания C_{орг} и микробной биомассы. При этом возрастают значения рН, содержание карбонатов, активность фермента уреазы и скелетность почвы. Интенсивный выпас на склоне северной экспозиции в большей мере сказывается на уменьшении активности β-глюкозидазы и увеличение активности щелочной фосфатазы, а также приводит к увеличению биомассы грибного мицелия. Показано, что перевыпас усиливает интенсивность процессов минерализации органического вещества в почвах горных пастбищ, что приводит к уменьшению содержания C_{орг} и углерода входящего во все фракции активного пула. Для почв склона северной экспозиции также была отмечена повышенная скорость минерализации ПОВ в зоне интенсивного выпаса, однако потери органического углерода не обнаружены.

УДК 631:48

ПРОБЛЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВ С КУЛЬТУРНЫМИ СЛОЯМИ-ЗОЛЬНИКАМИ

Плеханова Л.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
Федерального исследовательского центра «Пушкинский центр биологических исследований»
Российской академии наук, г. Пушкино Московской области, e-mail: Dianthus1@rambler.ru

Почвы древних поселений формируются под влиянием природных и антропогенных факторов, их естественное развитие прервано ростом природно-антропогенных наносов. Среди разнообразия этих наносов в верхней части современного профиля, выделяются культурные слои, содержащие артефакты прошлых эпох. Представлены эти древние следы антропогенного воздействия целыми горизонтами, встроенными в профиль почв, и не являющихся характерными для природных почв региона. Культурные слои поселений, разные по цвету и составу, принято противопоставлять погребенным почвам [4, 10].

Вопросами происхождения зольника задавались археологи с начала XX века, когда В.А. Городцов ввел понятие «зольники» для скифских комплексов и сравнил их с доисторическими грудками мусора. Зольники, как разновидность культурных слоев, привлекают внимание исследователей.

дователей степных регионов, но число специалистов по палеопочвам весьма ограничено [10, 12, 16]. Культурные слои изучаются во всех регионах, вплоть до северной тайги [14]. Обнаружены крупные ландшафтные образования в виде зольников Молдавии [17], где при попытке собрать все свидетельства о наличии зольников в главе VII опубликовали и наши данные. Отметим, что пространственная локализация зольников на памятниках имеет четкие границы, как и все объекты палеопочвенных исследований инфраструктуры поселений [2, 8, 15]. Во всех случаях белесый горизонт зольников лежит в глубине профиля и перекрыт почвообразованием дневных поверхностей, включая активные процессы последних этапов восстановления экосистем [11, 13].

Работы на территориях кластерного музея-заповедника «Аркаим» [6] позволили нам создать архив полнопрофильных разрезов почв поселений различных эпох и культурной принадлежности, содержащих в своем составе горизонт культурного слоя-зольника. Изучался физико-химический состав почв, с акцентом на содержание фосфатов, магнитная восприимчивость почв, отдельные показатели биологической активности. Исследователями зольников получены отдельные характеристики реликтовых включений, биоморф и споро-пыльцы [8], произведены попытки изучения элементного состава [1, 7, 15]. Одни делают вывод о складировании золы в отдельных ямах с последующей карбонатизацией этих отложений [7], другие предполагают место складирования мусора при регулярной очистки сооружений поселения, где обильны фитолиты трав и маркеры продуктов животного происхождения и шерсти [8], третьи пишут об отсутствии непосредственно костровой золы в зольниках [17].

На основании изучения культурных слоев – обычных гумусных, зольников, прокалов и горельников предложен способ подсчета следов древней антропогенной нагрузки [10]. Предложена красивая гипотеза образования открытых степных пространств вследствие перевыпаса в окрестностях таких поселений [9] и золистых слоев большой мощности как результата сведения лесов [10].

Культурный слой характеризуется более легким гранулометрическим составом, карбонатностью, щелочностью, слабой засоленностью, высоким содержанием фосфатов. Материал слоя «зольника» не всегда подвергался воздействию огня и является не только костровой золой, но антропогенно-преобразованной обогащенной карбонатами породой. Мы уточняем происхождение данных культурных слоев рассмотрением микробиологической составляющей, по ранее изученным методическим аналогиям [3].

В теории почвоведения вопросы происхождения светлых почвенных горизонтов детально разработаны для кислых обстановок [5], горизонты эти на всех типах почв моногенетичны по происхождению, формируются в результате процесса глееобразования при застойно-промывном режиме на породах без сульфатов. Зольники же являются карбонатно-обогащенными горизонтами. Основная проблема при изучении почв, содержащих горизонты культурного слоя - зольников, – состоит в отсутствии стройной теории их происхождения.

Литература

1. Бикмулина Л.Р., Якимов А.С., Куприянова Е.В., Чечушков И.В., Баженов А.И. Геохимические особенности «зольника» поселения бронзового века Стрелецкое-1 лесостепного Зауралья // ВААЭ. №4 (39). 2017. С. 154-163.
2. Борисов А.В., Бухонов А.В., Гак Е.И., Плеханова Л.Н. Инфраструктура катакомбного поселения Рыкань-3 в свете междисциплинарных исследований // В сборнике: Археология Восточно-Европейской степи. Материалы IV археологической конференции. 2013. С. 66-74.
3. Борисов А.В., Горошников А.А., Каширская Н.Н., Мимоход Р.А., Пинской В.Н., Потапова А.В., Смекалова Т.Н. 2023. Почвенно-микробиологические подходы к реконструкции назначения построек на древних поселениях // НАВ. Т. 22. № 1. С. 10-35.
4. Борисов А.В., Идрисов И.А., Коробов Д.С., Ельцов М.В., Савицкий Н.М., Плеханова Л.Н. Земледельческие террасы с межевыми откосами в горном Дагестане // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. 2016. Т. 10. № 4. С. 85-97.
5. Зайдельман Ф.Р. Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладные аспекты: Москва: Красанд. 2010. 239 с

6. Зданович Г.Б., Иванов И.В., Плеханова Л.Н. Музей-заповедник "Аркаим" в Стране Городов// Природа. 2001. № 9 (1033). С. 50-58.
7. Каздым А.А., Корякова Л.Н., Ковригин А.А., Берсенева Н.А. Петрографическое и минералогическое исследование "зольников" Павлинова городища (V в. до н. э., Курганская область)// Минералогия техногенеза. 2003. Т. 4. С. 198-203.
8. Куприянова Е.В., Соломонова М.Ю., Трубицына Э.Д., Каширская Н.Н., Филимонова М.О., Афонин А.С., Шарапов Д.В., Иванов С.Н., Рябогина Н.Е. Междисциплинарные исследования отложений зольника около поселения Степное// ВИАЭ. 2023. № 4 (63). С. 18-38.
9. Плеханова Л.Н. Антропогенная деградация почв речных террас Волго-Уральского региона в эпоху бронзы и ее влияние на современный почвенно-растительный покров// Аридные экосистемы. 2019. Т. 25. № 3 (80). С. 53-59
10. Плеханова Л.Н. Природно-антропогенная эволюция почв речных долин степного Зауралья во второй половине голоцена// Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биол. наук / МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва, 2004, 24 с.
11. Плеханова Л.Н., Иванов И.В., Ермолаев А.М. Некоторые результаты биомониторинга почв заповедника Аркаим челябинской области// В сборнике: Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии в адаптивном земледелии. Челябинск, 2003. С. 308.
12. Плеханова Л.Н., Ткачев В.В. Физико-химические свойства почв многослойного поселения эпохи бронзы в окрестностях г. Гай // Поволжская Археология. 2013. № 4 (6). С. 225-234.
13. Приходько В.Е., Манахова Е.В., Манахов Д.В., Плеханова Л.Н., Захарова Ю.В. Изменение состояния гумуса почв степного Зауралья в заповедном режиме // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2006. № 3. С. 10-17.
14. Тупахина О.С., Тупахин Д.С., Колесников Р.А., Плеханова Л.Н. Комплексные междисциплинарные исследования многослойного поселения Ямгорт I в Западносибирском Приполярье // Российская археология. 2022. № 2. С. 47-59.
15. Alaeva, I.P., Plekhanova, L.N. Physical and Chemical Properties of Bronze Age Soil Deposits from Settlements of the Southern Trans-Urals Steppe// Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2023, F1688, pp. 68–80.
16. Lisetskii Fedor N., Poletaev Arseniy O., Stolba Vladimir F. Archaeological ash deposits and soils formed on ash in the south of the East European Plain// Quaternary International. Volume 618, 30 April 2022, Pages 14-23.
17. Sava E., Kaiser E. Die Siedlung mit „Aschehügeln“ von Dorf Odaia. Miciurin, Republik Moldova. 2011, 532 p.

ПОЧВЕННО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТКОВ ПОСТРОЙКИ НА ГОРОДИЩЕ «МИХАЙЛОВСКИЙ КОРДОН»

Потапова А.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения ПНЦБИ РАН,
Пушино, Россия, e-mail: anastassia4272@gmail.com

С начала 20-го столетия наличие фосфатов в почве связывалось с человеческой деятельностью [4]. Использование фосфора в археологии началось с 30-х годов XX в., с первых работ Аррениуса и Лорха, отметивших увеличение содержания фосфора в почвах на местах древних поселений северо-запада Европы [5]. Фосфор является фундаментальной составляющей живых тканей и его концентрация в культурных слоях служит индикатором интенсивности заселения территории древним человеком, так как фосфор содержится в органическом веществе, которое отлагается при деятельности человека пропорционально времени обитания и росту популяции населения [1]. На северной окраине города Воронеж на высоком правом берегу реки Воронеж расположена группа археологических памятников, относящаяся к эпохе раннего Средневековья. В качестве объекта исследований было выбрано славянское городище «Михайловский кордон», оно датируется древнерусским временем (последние века I тыс. н. э.) [3]. Целью палеопочвенных исследований была реконструкция особенностей деятельности населения на территории памят-

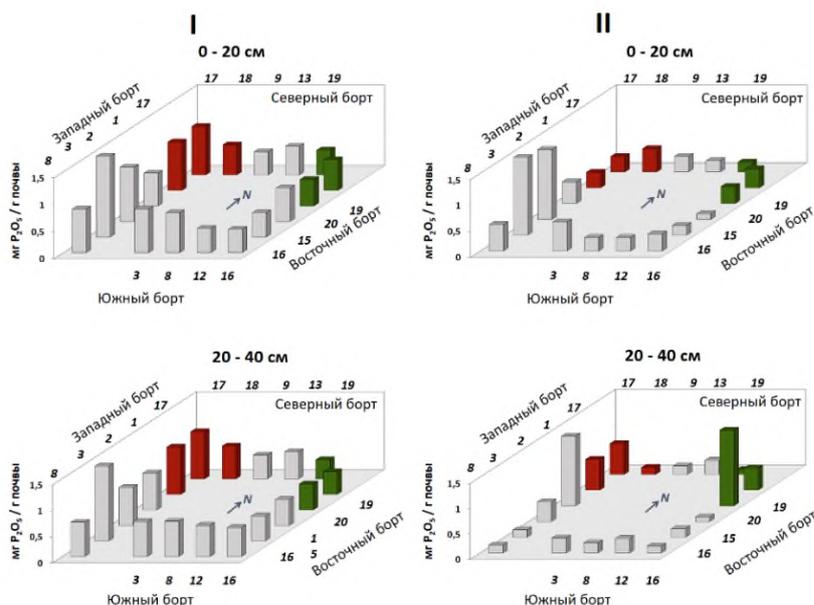


Рис. 1. Содержание минерального (I) и органического (II) фосфора в культурном слое в бортах раскопа 4. Красной заливкой показаны значения в секторах рядом с летней печью, зеленой – в секторах у хозяйственной ямы.

ника. Для реконструкции особенностей хозяйственного использования территории, прилегающей к постройке, были отобраны образцы из бортов раскопа. Слой 0-20 см в большей степени отражает современный этап почвообразования, а слой 20-40 см связан с особенностями антропогенной деятельности в период функционирования постройки. Содержание валового, минерального и органического фосфора определялось по методу Сандерса и Вильемса [6]. Раздельное определение органических и минеральных форм фосфатов позволяет более точно воссоздать источник фосфора [2]. Содержание минерального фосфора (рис. 1) в слое 0-20 см варьировало в большей части случаев от 0.5 до 1 мг P₂O₅ / г почвы.

Высокое содержание минерального фосфора, 2.2 мг P₂O₅ / г почвы, было отмечено в квадрате 3 с восточной стороны. В целом, содержание минерального фосфора увеличивалось в направлении с востока на запад в 2 – 3.5 раза. По-видимому, в западной части памятника была сосредоточена хозяйственная деятельность древнего населения, предположительно в летнее время (когда работала летняя печь). Это подтверждается данными по содержанию органического фосфора, который также в западной части поселения увеличивался в верхнем слое в 3-16 раз, а в нижнем слое в 3-6 раз по сравнению с восточной частью. В культурном слое Михайловского Кордона по периметру раскопа 4 экстремально высокое значение органического фосфора – 6.3 мг P₂O₅ / г почвы – было выявлено в квадрате 20, в восточной части раскопа. Результаты проведенных палеопочвенных исследований позволяют поставить вопрос о специфике использования конкретных строительных комплексов в площади городища, о возможности определения времени их активного использования. Расширение результатов подобных исследований позволит более детально говорить о планировочной структуре городища.

Аналитический блок исследований выполнен за счет средств гранта РНФ 22-68-00010.

Литература

1. Борисов А.В., Демкина Т.С., Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Чернышева Е.В. Биологическая память почв об изменениях условий почвообразования и антропогенной деятельности в прошлом: микробная и ферментная составляющие // Почвоведение. 2021. №7. - С. 849-861
2. Потапова А.В., Пинской В.Н., Гак Е.И., Каширская Н.Н., Борисов А.В. Изменчивость свойств культурного слоя поселения эпохи бронзы Ксизово-1 в лесостепном Подонье // Российская археология. 2020. № 1. С. 60–75. DOI:10.31857/S086960630008254-8

3. Томилин Д.А. Археологическая разведка на территории государственного природного заказника «Воронежская нагорная дубрава» // Археологические открытия. 2020. Т. 2018. С. 221-223. DOI:10.25681/IARAS.2020.978-5-94375-326-8.221-223
4. Харинский А.В., Андерсон Д., Стерхова И.В. Фосфатный метод в этноархеологических исследованиях. Теория и практика археологических исследований: сборник научных трудов / отв. ред. А.А. Тишкин. – Барнаул: Азбука, 2009. – Вып. 5. – 192 с.
5. Arrhenius O. Fosfathalten i Skanska Jorda // Sveriges Geologiska Undersokning. 1934. №28. P. 1–30
6. Saunders W.M., Williams E.G. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils // Journal of Soil Science. 1955. V. 6. P. 254–267.

РЕЛИКТОВЫЙ КРИОГЕННЫЙ ГОРИЗОНТ В ПОДЗОЛАХ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ, ЕГО ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ВЛИЯНИЕ НА СОВРЕМЕННОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ

¹Седов С.Н., ¹Шейнкман В.С., ²Андроханов В.А.

¹ИКЗ, ФИЦ ТюмНЦ СО РАН; ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026, Россия,
serg_sedov@yahoo.com, vlad.sheinkman@mail.ru

²ИПА СО РАН; пр. Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия;
androhanov@issa-siberia.ru

Север Западной Сибири долго считался бесперспективной областью для поиска плейстоценовых палеопочв. Причина – прежние представления о распространении там ледниковых покровов и морских трансгрессий в квартере, стиравших следы древнего педогенеза. Почвоведы, разрабатывавшие представления о генезисе и эволюции почв тундровой и северотаежной зон Западной Сибири полагали, что начало педогенеза связано здесь с завершением дегляциации бывшего ледника, и почвенный покров имеет голоценовый возраст. Вопрос плейстоценовых реликтовых признаках, а тем более – о погребённых палеопочвах ими даже не ставился.

В последние десятилетия произошёл пересмотр масштабов оледенений Евразии и обоснованы гипотезы об отсутствии сплошного ледникового щита в рассматриваемом регионе [1], что послужило стимулом для проведения авторами в течение последних 10 лет работ по поиску, анализу и интерпретации плейстоценовых палеопочв к северу от субширотного участка Средней Оби. Недавно опубликовано обобщение результатов этих работ: оно включает составление сводной педостратиграфической колонки, обоснование её хронологической шкалы на основе датировок радиоуглеродным и уран-ториевым методами и её корреляцию с палеопедологическими летописями сопредельных регионов [2]. В педостратиграфической колонке представлены палеопочвенные уровни, соответствующие относительным потеплениям климата в позднем плейстоцене: казанцевскому, МИС5, и каргинскому, МИС3, термохронам, а также потеплению в терминальную фазу сартанского, МИС2, криохрона.

Для исследования закономерностей формирования и эволюции современного почвенного покрова наибольшее значение имеют данные по самому молодому из палеопочвенных уровней квартера – позднесартанскому. Он часто располагается вблизи поверхности, фактически образуя нижнюю часть профиля дневных почв. Считаем, что именно с ним связаны криогенные признаки, которые фиксировались ранее некоторыми исследователями западносибирских подзолов [3], не пытавшимися, однако, выяснить хронологический, а также палеоэкологический контекст этих признаков.

Для палеопочвенного уровня терминальной фазы сартанского криохрона, МИС-2, авторами получен большой массив данных из объектов в обнажениях высоких речных террас региона. Он представлен реликтами криогидроморфных почв, ясно отслеживающихся на глубине около 1 м от поверхности в виде сизого, мощностью в несколько сантиметров, горизонта с многочисленными ржавыми пятнами и разводами. Сизые тона в окраске палеопочвы связаны с оглеением, которое развивалось в условиях избыточного увлажнения в былом сезонно-талом

слое, при близком залегании мёрзлого водоупора. Эти горизонты были редуцированы под воздействием иллювиального горизонта формирующихся выше альфегумусовых подзолов и подбуров и с трудом диагностируются в первоначальном залегании. Зато педоседименты этих почв хорошо выражены в заполнении псевдоморфоз по былым полигонально-жильным льдам (ПЖЛ) – следствие оползания почвенного материала (по стенкам ПЖЛ после их вытаявания) и последующего его захоронения. Он характеризуется выраженной глеевой пигментацией, а по краю псевдоморфоз располагается сплошная, шириной 2-5 см, ржаво-бурая кайма. Пигментация основного тела псевдоморфоз связана как с восстановительными процессами в исходных почвах, так и с оглеением дополнительно в условиях избыточного увлажнения на пространстве вытаявших ПЖЛ. При этом в обрамлении ПЖЛ на мёрзлом контакте осаждались дающие бурю кайму соединения гидроксидов железа, мобилизованного в восстановительной среде тела псевдоморфоз.

В оглеенном минеральном заполнении псевдоморфоз по ПЖЛ встречаются темноокрашенные гумусированные зоны – морфоны. Из них брались образцы для ¹⁴C-датирования, и ряд датировок показал возраста в интервале 17–9 тыс. л. н., а так как морфоны – фрагменты органоминеральных горизонтов почв, существовавших рядом с ПЖЛ на момент их оттаивания, получаемые ¹⁴C-даты дают практически время окончания формирования палеопочв, близкое к началу вытаявания ПЖЛ. Полученные датировки свидетельствуют, что свойства данных палеопочв и педоседиментов характеризуют экосистемы, формировавшиеся в терминальную фазу криохрона МИС2 и в самом начале голоцена. Хорошая выраженность в виде педоседиментов в заполнении псевдоморфозы по ПЖЛ связана у них с особенностями изменений в то время климата, когда наметилось потепление, завершившее криохрон МИС2. Развитые в максимуме криохрона ПЖЛ стали вытаявать, но многолетняя мерзлота еще сохранялась, способствуя заполнению свободного ото льда пространства материалом глеевых криогидроморфных почв с междужильных участков. Вытаявание ПЖЛ сопровождалось формированием тундрово-болотных экосистем, что отражено в спорово-пыльцевом спектре образцов из морфонов псевдоморфоз [4], а также составом гумусовых веществ [5].

Таким образом, близкое к поверхности залегание позднесартанского криопедогенного уровня создаёт парадоксальный набор диагностических горизонтов и признаков: элювиально-иллювиальные профили подзолов, непосредственно подстилаемые сильно оглеенным горизонтом. Требуется отдельная диагностика современных и реликтовых признаков, чтобы избежать ошибок в генетической интерпретации и, соответственно, в рекомендациях по использованию почв региона. Тем более что во многих случаях реликтовые криогенные структуры оказывают влияние на развитие голоценового подзолообразования: над псевдоморфозами по ПЖЛ формируются карманы как элювиального, так и иллювиального горизонтов.

Литература

1. Шейнкман В.С., Мельников В.П., Седов С.Н., Парначев В.П. Новые свидетельства внеледникового развития севера Западной Сибири в квартере. // ДАН, География, 2017, том 477, № 4, с. 480–484.
2. Sedov S.N., Sheinkman V.S. Late Pleistocene Paleosols in the North of Western Siberia: Paleorecords of Natural Environment and a Component of the Modern Soil Cover // Eurasian Soil Science, 2024, Vol. 57, No. 1, pp. 100–113.
3. Матышак Г.В. Особенности формирования почв севера Западной Сибири в условиях криогенеза: Дис. канд. биол. наук. М., 2009, 151 с.
4. Sedov S., Sheinkman V., Bezrukova E., Zazovskaya E., Yurtaev A. Sartanian (MIS 2) ice wedge pseudomorphs with hydromorphic pedosediments in the north of West Siberia as an indicator for paleoenvironmental reconstruction and stratigraphic correlation // Quaternary International. 2022. Vol. 632. P. 192-205.
5. Дергачева М.И., Бажина Н.Л., Седов С.Н., Шейнкман В.С. Гумусовая составляющая педоседиментов конца сартанского криохрона в бассейне реки Надым (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 1. e263.

О ПАТОЛОГИИ ПОЧВЫ И ЗДОРОВЬЕ ПОЧВЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Семенов А.М.

Кафедра микробиологии биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, e-mail: amsemenov@list.ru

Юбилей учёного - повод для осмысления накопленных научных результатов и подведения итогов в разделе науки, в которой юбиляр внес значимый вклад. Осознание необходимости именно всестороннего изучения почвы возникло совсем недавно, и 120-летний юбилей В.А. Ковды немного больше времени формальной даты возникновения «генетического почвоведения» В.В. Докучаева, как необходимости изучения той субстанции, что формировалась миллиарды лет и, что явилась и является основой поддержания и эволюции для живого [7]. Почва, что мы вкладываем в это термин - многообразна и каждый понимает и определяет содержание с позиции фундамента образования. Российские классики, осознавшие необходимость познать почву, вышли из геологии, что надолго отразилось в определениях почвы как субстанции.

К концу XX века произошло осознание и понимание, что почва не «биокосное тело», а биологическая экологическая система [4]. В этой связи, нужно определять почву, как продукт длительной взаимной ассимиляционной-диссимиляционной жизнедеятельности микроорганизмов, растений и трансформированного органоминерального вещества. Современная ПЭ – это органоминеральный природный продукт, возникший при определенных природно-климатических условиях и поддерживаемый непрерывным микробнорастительным взаимодействием в изначально количественно доминирующем неорганическом веществе.

Современной интегрирующей характеристикой ПЭ, является понятие – здоровье, которое включает и характеризует почвы, эксплуатируемые человеком, т.е. землепользуемые, и не охваченные пользователем, которые определяют (поддерживают и отвечают!) современное состояние климата и природы в целом. Понятие здоровье - это бесконечно многообразная характеристика состояния, это процесс и явление, но присущее только живому [3]. Следовательно, понимая, что почва – это биосистема, экосистема, для почвы уместно понятия (характеристика) – здоровье. Нужно различать и иметь определения «здоровье почвы» и «здоровая почва». Здоровье почвы - характеристика, раскрывающая биологическую суть почвы, отражающая её происхождение и функционирование как биологической экосистемы. Физико-химические составляющие почвенной экосистемы в виде качества почвы, почвенного плодородия и других характеристик, являются только дополнениями и уточнениями к здоровью. Здоровье почвы - это междисциплинарная концепция, основанная на знаниях микробиологии, биохимии и экологии с учетом знаний почвоведения, агрохимии и агрономии. Здоровье почвы следует понимать, как «биологическую категорию, отражающую состояние динамики активности биотического компонента в органоминеральном комплексе почвы и позволяющую принять представление о почве как о продукте длительной взаимной ассимиляционно-диссимиляционной жизнедеятельности микроорганизмов и растений в доминирующем минерально-органическом веществе» [2, 3, 5].

Попытка научной разработки учения о «патологии почв», преприятная В.А. Ковдой [1], (Ковда В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты. ИФХиБПП. 2011. Пушкино, Россия. Препринт статьи 1989 г.), прямо и косвенно указывает, что почва – это продукт жизнедеятельности микроорганизмов, растений и животных, т.е., биоты, что почва – это биосистема, экосистема. Называя живое вещество В.А. Ковда, поставил в живом, традиционно на первое место растения, а микроорганизмы последними. Конечно, как всякому живому, почве должно быть присуще и здоровье, т.е., нужно было разрабатывать учение о здоровье почвы, что было сделано [6]. Конечно, термин патология тоже подразумевает состояние, относящееся к «биосу», и бурная фантазия примерения характеристики патологии в отношении литосферы, выглядит безобразно. Патология – медицинский термин аномалии, отклонения, ненормальности состояния организма. Заметим, в русском языке термин – патология- не антоним здоровья. Антоним термина патология - правильность, нормальность. Следовательно, для признания «патологии» в

чем-то, чего-то, нужно знать и сравнивать с нормой, что очевидно – здоровым объектом. Патология, это состояние и следствия нездоровья.

В своем эссе «Патология почв и охрана биосферы планеты», В.А. Ковда обсуждал проблемы, имеющиеся и прогнозируемые в почвенном покрове, а не именно в почве, как продукте, и в семи главах с от трех до пяти под главами в каждой главе, связывал «патологические» изменения в почвенном покрове с активностью именно человека. В связи с этим, по-видимому следует понимать, что термин патология почвы В.А. Ковда применил как метафору для обозначения тех почв и таких почв, растительный покров которых указывает на непригодность [на текущий момент?] для использования в производстве на таких почвах с/х продукции и от осознания понимания ответственности перед будущим того, что доступность производительных почв ограничена, исчерпаема. Несомненно, что В.А. Ковда с его аналитическим и прогностическим мышлением понимал биосферную значимость тех почв, ландшафтов, почвенных экосистем (горы, болота, солончаки, пустыни разного происхождения, мерзлотные почвы и др.), которые не применимы для производства с/х продукции, но определяют состояние современной биосферы. Таким образом, уместность использования в виде метафоры представлений о патологии почвы в эссе В.А. Ковды не вызывает сомнения, и наоборот, сведение некоторыми учеными к «метафоре» современных представлений о здоровье почвы неуместно и не научно.

Литература

1. Ковда В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты. Междисциплинарный научный прикладной журнал. «Биосфера», 2011, т.3, №4. Стр. 532-547.
2. Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К., Бубнов И.А., Семенова Е.В. Способ определения параметра здоровья у образцов почвы, компостов и других твердых субстратов. Пат. 2408885 Рос. Федерация. № 2009130742; заявл. 12.08.2009; опубл. 10.01.2011.
3. Семенов А.М., Семенов В.М., ван Бругген А.Х.К. Диагностика здоровья и качества почвы // Агробиохимия. 2011. № 12. С. 4–20.
4. Семенов А.М., Семенова Е.В. Почва как биологическая система и ее новая категория – здоровье. //Успехи современной биологии. - 2018. - Т. 138. - № 2. - С. 115–125.
5. Семенов А.М., Джукич Д.А. Микробные сообщества в почвообразовательных процессах и здоровье почвы. Эволюция биосферы с древнейших времен до наших дней. Серия «Гео-биологические системы в прошлом». М.: ПИН РАН, 2019. с. 171–189.
6. Doran J.W., Zeiss M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality // Appl. Soil Ecol. 2000. V. 15. P. 3–11.
7. Semenov A.M., Đukić D.A. The Role of Microbial Communities in Soil Formation and Soil Ecosystem Health. //Paleontological Journal. 2020. V. 54, № 8, p.35-44.

О СОДЕРЖАНИИ И СВОЙСТВАХ МНОГОТОННАЖНО ПРОИЗВОДИМЫХ «ПОЧВООБРАЗНЫХ МАСС», ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ С/Х ПРОДУКЦИИ И ДЛЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ЦЕЛЕЙ

Семенов А.М., Семенова Е.В.

Кафедра микробиологии, Биологический факультет, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, 1/12, 119234, Москва, РФ

Автор для корреспонденции: amsemenov@list.ru

Представлена попытка научного осмысления содержания и свойств многотоннажно производимых компостов, торфо-грунтов, почво-грунтов, «искусственных почв» и других промышленно производимых «почвообразных масс», предлагаемых для выращивания с/х продукции и для декоративных целей.

К концу XX века произошло осознание и понимание того, что почва не «биокосное тело», а биологическая экологическая система. Т.о., почва - это органоминеральный природный «продукт», образовавшийся в соответствии с определенными природно-климатическими условиями.

Этот продукт образовался и поддерживается в силу эволюционно длительных непрерывных микробно-растительных взаимодействий на исходно количественно преобладавшей неорганической породе. Этот продукт включает биоту, мортмассу и метаболиты, подвергающиеся непрерывным ферментативным и физико-химическим превращениям и т.д. Продукт, обеспечивает питательными веществами растения и гетеротрофную биоту, выступает источником и стоком элементов и биоразнообразия.

В начале XXI века была осознана необходимость введения и осмысления новых характеристик и понятий о почвенной экосистеме – здоровье почвы [4]. Возникла необходимость в количественных методах определения такого необъятного по своему понятийному и фактическому содержанию, как здоровье почвы (ЗП). Краткое определение понятия здоровье почвы (почвенной экосистемы - ПЭ) – это биологическая категория, отражающая состояние динамики активности биотического компонента в органоминеральном комплексе почвы. Нужно различать понятия - качество почвы (КП), почвенное плодородие (ПП), которыми традиционно оперирует современное почвоведение, и здоровье почвенной экосистемы (почвы). КП и ПП отражают физико-химические характеристики ПЭ. Традиционно считается, что этих двух показателей достаточно при характеристике состояния почвы для получения приемлемых количеств урожаев. Понятие здоровье присуще живым организмам и обладают им только живые организмы (биосистемы). Чтобы понять сущность содержания «здоровье почвы», нужно знать различия в содержании понятий: почвы и грунты. Почвы произведены микробно-растительными взаимодействиями и обладают колоссальным биоразнообразием. Грунты с точки зрения их происхождения – это горные породы, состоящие из слабо связанных между собой минеральных частиц. Грунты – не созданы микробно-растительными взаимодействиями. Грунты – просто больше или меньше контаминированы, инфицированы микроорганизмами. Грунты – не само поддерживающиеся и не биосистемы. Как прообраз образования и формирования почв в текущем времени можно рассматривать процессы компостирования и продукты этих процессов - компосты. Зрелые компосты, качественные компосты – это антропогенно «созданные» почвы, которые произведены из растительных и/или животных остатков. В современной почвенной экосистеме можно выделить: натуральные, агроэкосистемы, селитебные системы. Среди агроэкосистем различают системы землепользования: конвенционные (интенсивные), органические и смешанные (переходные). Исследовать ПЭ разных типов землепользования, как и грунтов можно одинаковыми и разными методами, и методы для агрохимической характеристики почвы (как и грунтов) разрабатывались многими веками. Методы для агрохимической характеристики почвы, применимы и даже необходимы в органическом землепользовании. Управлять натуральными почвами и почвами агроэкосистем можно физико-химическими и биологическими методами. Все эти методы длительные, особенно биологические, а ускорение их высоко затратно. Промышленно производимые почвоподобные массы – не управляемы, но, как и другие промышленно производимые не живые изделия, подвержены репродуцированию. Нужно понимать, что можно иметь плодородную и качественную с т.з. агрохимии и почвоведения почву, но не здоровую и наоборот. Одним из ключевых показателей здоровья и здоровой ПЭ – высокая супрессивная активность по отношению к контаминантам (биологическим и химическим), основанная на высоком биоразнообразии ПЭ и функционирование цикла трофически разных микроорганизмов. Нужно понимать и помнить, что в конвенционном (интенсивном) землепользовании супрессивная активность ПЭ или мало значима из-за применения пестицидов или может «играть» не адекватную роль. Грунты не обладают «биологической» супрессивной способностью, но могут проявлять «подавляющую (химически) не целевую способность. Прибор, «искусственный интеллект», тем более на современном уровне познания ЗП не может оценить ЗП. Оценивать состояние здоровья может только человек, специалист. При определении ЗП, не зависимо от способа определения, нужно обязательно соблюдать принципы: сравнительности; нативности; инициации; динамизма. К текущему временному периоду уже предложены способы диагностирования здоровья почвы, методы терапии и реабилитации ПЭ [1]. Современное компостирование – это процесс природо-подобного производства почв и рационального очищения биосферы от органических отходов. Только научное сравнение содержания и свойств многотоннажно производимых торфогрунтов, почво-грунтов, «искусственных почв» и других промышленно производимых «почвообразных масс» и

сравнение их с природной почвой позволяет выявить фундаментальные отличия. «Грунты» не обладают «биологической» супрессивной способностью. В грунтах не функционирует цикл трофически разных микроорганизмов. Для грунтов не определимо здоровье т.к. не выполнимы «принципы». Т.о., фундаментальное различие природных почв и «почвообразных масс» - в биологическом содержании и функциональных способностях природных почв. «Почвообразные массы» не обладают полным биологическим содержанием и функциональными способностями, которые присущи природным здоровых почвам или способны только имитировать функции природных почв. Известно, что в некоторые почвообразные массы вносят полезные МО в виде популяций бактерий и/или микромицетов. Однако согласно нашим последним исследований даже в натуральных почвах метаболически активны только 10% микроорганизмов [3]. При этом, как в натуральных, так и почвообразных массах микробные сообщества проявляют волнообразную динамику, находясь или в состоянии роста или отмирания [2]. **Литература.** [1]. Семенов А.М., Семенова Е.В. Почва как биологическая система и ее новая категория – здоровье. //Успехи современ. биол. 2018. Т. 138. № 2. С. 115–125. [2]. Семенов, А.М. и др. О периодических колебаниях численности клеток микроорганизмов в природе и в чистой культуре: к третьему закону популяционной экологии в микробиологии. //Успехи современ. биол. 2022. Т. 142, № 6. С. 591-602. [3]. Семенов, А.М. и др. Микроскопический учет общего количества бактерий и метаболически активных бактерий в почвенных образцах: соотношение и осцилляционная динамика численности. //Успехи современ. биол. 2024. Т. 144. №1, С. 111-134. [4]. Van Bruggen A.H.C., Semenov A.M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. //Appl. Soil Ecol. 2000. V.15: No.1. P.13-24.

ВЛИЯНИЕ ПИРОГЕНЕЗА НА МЕРЗЛОТНЫЕ ПОЧВЫ КАК КОМПОНЕНТ БИОСФЕРЫ

Чевычелов А.П.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск,
просп. Ленина, 41, e-mail: chev.soil@list.ru

Огонь в лесных районах распространения многолетней мерзлоты рассматривают как важный фактор, моделирующий поверхность и оказывающий влияние на геоморфологические процессы. Очевидно, что лесные пожары и огонь вообще следует включать в число важных факторов почвообразования, учёт влияния которого обязателен при рассмотрении вопросов генезиса и географии лесных почв [1]. Признавая огромное влияние лесных пожаров на изменение состава, свойств и режимов автоморфных почв мерзлотной области, мы предложили термин «пирогенез», понимая под ним совокупность процессов и явлений, возникающих в природных ландшафтах под действием огня [8].

За последние десятилетия среднетаежные леса Якутии претерпевают существенные нагрузки из-за частых лесных пожаров и увеличения охватываемых пожарами территорий. Так, с 1990 по 2010 г. на всей территории республики зарегистрировано более 10 тыс. лесных пожаров на общей площади около 4,6 млн. га. За этот период ежегодно регистрировалось от 194 до 1169 возгораний на площади от 12,8 до 719,5 тыс. га. В среднем ежегодно на охраняемой территории происходило 610 лесных пожаров на площади более 310 тыс. га [6].

В лесном покрове Якутии преобладают светлохвойные леса из лиственницы Каяндера, на долю которых приходится 91% лесопокрытой площади. Интенсивность «работы» гетеротрофов, или второго трофического уровня системы, в лесах геокриогенной области значительно ослаблена как в живом, так и в детритном пищевых потоках. Вследствие этого превышение запасов лесных подстилок над годичным опадом в часто подвергавшихся пожарам лесах Центральной Якутии достигает 4-10 кратных значений, а в давно негоревших, с менее благоприятным гидротермическим режимом – в десятки раз [7]. Согласно известной шкале Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич биологический круговорот в лесах Южной Якутии характеризуется как мало- и среднепродуктивный, сильнозаторможенный, что приводит к накоплению значительного количества

горючих материалов в виде мощных лесных подстилок, сухостоя и валежа. В составе напочвенных лесных горючих материалов весьма значима доля мхов и, в особенности лишайников, способных достигать состояния пожарной зрелости уже на 2-3 день после очередного дождя. При этом на долю последних и ветоши, относимых по классификации Н.П. Курбатского к проводникам горения I группы, в лесах Якутии и Магаданской области приходится 37-62% от общей массы напочвенных горючих материалов. В лесах мерзлотной области Северо-Востока России основную массу лесных горючих материалов составляют низшие растения: мхи и лишайники, а также лесные подстилки, на которые приходится 80-95% от общей биомассы напочвенного растительного покрова.

В зависимости от степени освоенности территории и плотности населения может преобладать один из источников возникновения лесных пожаров – природный (грозовые разряды) или антропогенный. В густонаселенной европейской части России до 98% пожаров возникает по вине человека, а в удаленных северных районах этот показатель составляет ниже 50%. С учетом особенностей пространственного распределения разрядов можно предполагать, что роль гроз в возникновении лесных пожаров должна увеличиваться в высоких широтах [5]. Именно этим можно объяснить широкое распространение грозовых лесных пожаров на территории Якутии. Среднее значение количества грозовых пожаров за период 1969-2002 гг. составляло $49 \pm 3,8\%$. При этом в половине исследуемых районов оно было более 50%, а в ряде районов даже достигало 95%. Для Якутии за это время отношение площади грозовых пожаров к общей площади лесных пожаров в среднем составляло $67 \pm 5\%$, изменяясь от 10 до 99% [4].

Почти ежегодно леса Сибири подвергаются массовым пожарам. При этом за 2-3 месяца пожароопасного периода сгорает около $20 \cdot 10^6$ т биомассы и выбрасывается в атмосферу около $2 \cdot 10^6$ т продуктов горения, а дымовые шлейфы тянутся на десятки километров. Продукты горения эмиссий при этом проникают высоко (до 10 км и более) в нижние слои атмосферы и переносятся на значительные расстояния [2].

Влияние прогнозируемых изменений климата на лесные пожары в глобальном аспекте можно определить согласно климатической модели ИФА РАН [3]. Согласно данной модели средняя по ансамблю глобальная площадь выгорания из-за природных пожаров увеличится с 2,1 млн км² в год до 2,4-3,2 млн км² в год, а годовые глобальные эмиссии углекислого газа в атмосферу из-за природных пожаров возрастут с 1,4 ПгС/год до 1,6-2,7 ПгС/год соответственно. Основной вклад в изменение глобальных значений площади природных пожаров и соответствующих эмиссий CO₂ в атмосферу в XXI веке вносят регионы средних и субполярных широт Евразии и Северной Америки. Для бореальной Евразии ежегодная площадь выгорания из-за природных пожаров в XXI веке в среднем по ансамблю изменяется с 0,2 млн км² в год до 0,3-1,0 млн км² в год, а соответствующие эмиссии углекислого газа в атмосферу с 0,07 ПгС до 0,14-0,39 ПгС/год. Интенсификация эмиссии CO₂ в атмосферу из-за природных пожаров связана как с климатическими изменениями, так и с увеличением запаса углерода в наземной растительности. Таким образом, отмечаемое и прогнозируемое потепление климата как на глобальном, так и на региональном уровнях однозначно приведет к увеличению количества лесных пожаров и площади выгорания в 21 веке по разным оценкам в 1,5-5,0 раз. Это обстоятельство необходимо учитывать при организации и проведении почвенных исследований, особенно в мерзлотно-таежной области криолитозоны.

Литература

1. Арефьева З.Н., Колесников Б.П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // Почвоведение. 1964. № 3. С. 30-46.
2. Валендик Э.Н. Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 1-8.
3. Елисеев А.В., Мохов И.И., Аржанов М.М. Климатические изменения XX-XXIII веков в Евразии при сценариях антропогенных воздействий RCP по расчетам с моделью ИФА РАН // Десятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Тез. рос. конф. Томск: Изд-во Агроф-Пресс, 2013. С. 50-51.
4. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Соловьев В.С. Лесные пожары в Якутии от гроз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6, № 2. С. 388-393.

5. Муллаяров В.А., Торопов А.А., Козлов В.И., Каримов Р.Р. Особенности пространственного распределения положительных грозových разрядов на востоке Сибири // Метеорология и гидрология. 2009. № 6. С. 47-55.
6. Протопопова В.В. Местная шкала пожарной опасности лесов по условиям погоды для Центральной Якутии // Наука и образование. 2011. № 2. С. 74-77.
7. Уткин А.И. Лесные биогеоценозы геокриогенной области как специфические системы // Экология. 1976. № 3. С. 15-22.
8. Чевычелов А.П. Пирогенез и горно-таежное континентальное гумидное почвообразование на Северо-Востоке Азии (на примере Южной Якутии). Новосибирск: СО РАН, 1997. 34 с.

АВТОМОРФНЫЕ НАТИВНЫЕ ЧЕРНОЗЕМЫ ЛУГОВЫХ СТЕПЕЙ НА ЮГЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Чендев Ю.Г., Белеванцев В.Г., Салова Т.Л., Соляной А.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

E-mail: Chendev@bsu.edu.ru

На юге лесостепи Среднерусской возвышенности сравнительно недавно были выявлены небольшие сохранившиеся «островки» нативных черноземов. Ими оказались участки сенокосов и выгонов в ряде сел [2]. Позднее проведенное нами исследование показало перспективность поиска новых участков с нативными черноземами на сенокосах, выгонах, а также на территории бывших колхозных станов, которые никогда не подвергались распашке. Работа по поиску таких участков проводилась с использованием достоверных крупномасштабных картографических материалов разных исторических периодов и спутниковой карты современного периода, на которых отображены ареалы с естественной травянистой растительностью. В частности, были использованы планы дач генерального (конец 18 века) и специального (вторая половина 19 века) межевания масштаба 1:8400, хранящиеся в Российском государственном архиве древних актов (г. Москва). В результате проделанной работы, на юге Среднерусской возвышенности в административных границах Белгородской области было выявлено большое число участков, потенциально подходящих для поиска нативных черноземов, формирующихся на ровных водоразделах (рис. 1). На территорию ряда из них затем осуществлялись рекогносцировочные выезды, и было начато полноценное полевое и лабораторное исследование профильного строения эталонно значимых черноземов.

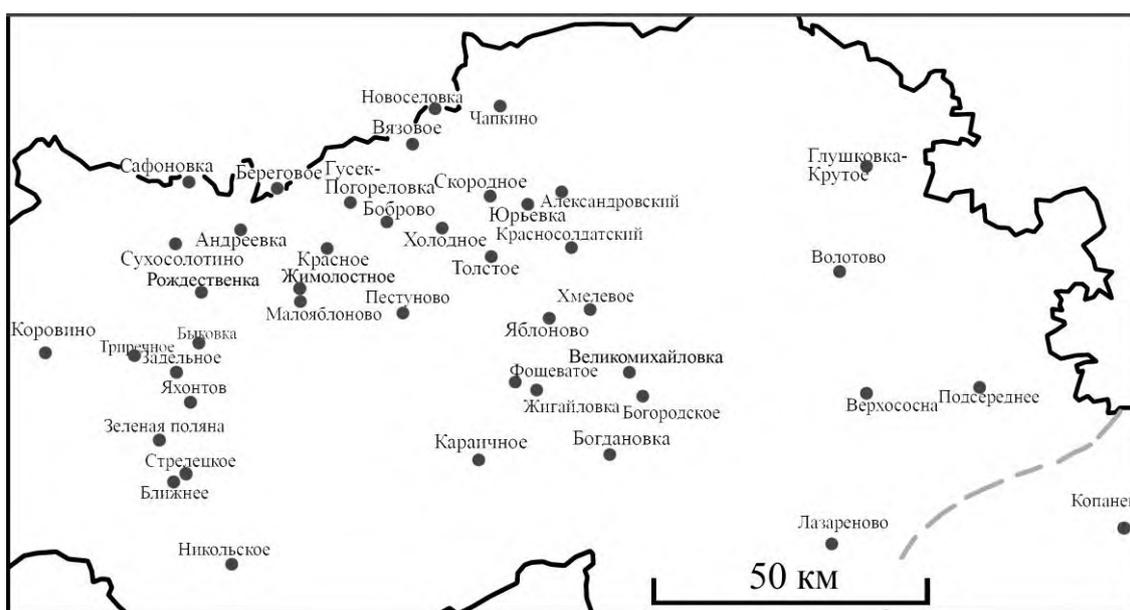


Рис. 1. Местоположение выявленных участков сенокосов и выгонов, ранее не подвергавшихся распашке (с нативными черноземами лесостепи), в окрестностях населенных пунктов. Пунктиром показана граница лесостепи и степи.

Таблица 1. Углеродный потенциал черноземов сенокосов – выгонов лугово-степных ландшафтов лесостепи на юге Среднерусской возвышенности (каждое значение запасов углерода – среднее из 2-3 дублирующих почвенных профилей)

Название участка, содержание физической глины в слое 0-20 см, %	Слой почвы, см	Запасы, т/га	
		С орг	С карб
Черноземы выщелоченные			
Коровино, 49-51	0-100	344	0
	0-200	418	227
Триречное, 54-56	0-100	285	0
	0-200	335	138
Жимолостное, 47-48	0-100	227	42
	0-200	248	91
Черноземы типичные			
Сафоновка, 41-44	0-100	319	70
	0-200	373	243
Коровино, 55-57	0-100	327	50
	0-200	414	271
Задельное, 43-45	0-100	316	55
	0-200	417	432
Юрьевка, 40-42	0-100	290	0
	0-200	376	210

Главным методическим приемом поиска эталонных черноземов было изучение морфологического строения верхней части их профилей. Практически везде на изученных участках, верхние слои черноземов характеризовались зернистой или комковато-зернистой структурой без признаков когда-либо производившейся распашки. Главными компонентами в структуре почвенного покрова являются ареалы выщелоченных и типичных черноземов. Ареалы выщелоченных черноземов могли быть сформированы благодаря влиянию разных факторов. На части изучаемой территории эти почвы могут быть приурочены к межблочьям древнеледникового микрорельефа, где особенно интенсивно в позднем плейстоцене происходило вытаивание вечной мерзлоты и обусловленное им выщелачивание пород (участок «Коровино»). В других местах выщелоченные черноземы выявлены на участках выходов малокарбонатных красно-бурых глин, являющихся почвообразующими породами (участок «Триречное»). Дополнительными территориями могут быть участки с маломощным (до 1 метра) чехлом лессовидных суглинков, подстилаемых малокарбонатными древнеаллювиальными красноцветными суглинками легкого гранулометрического состава (участок «Жимолостное»). Черноземы типичные, как правило, формируются на участках с более однородным составом пород – лессовидных карбонатных суглинках и глинах. По сравнению с черноземами выщелоченными, черноземы типичные имеют более высокую степень перерытости землероями – слепышами. Данные о запасах углерода в изученных черноземах представлены в табл. 1. Запасы органического углерода в метровой толще почв варьируют в пределах 227-344 т/га, что соответствует запасам 391-593 т/га органического вещества (гумуса) почв. Эти данные находятся в близком соответствии с результатами исследований целинных лугово-степных черноземов Центрально-Черноземного заповедника им. В.В. Алехина (442 – 597 т/га гумуса в метровой толще почв) [1], что служит дополнительным доказательством хорошей сохранности нативных свойств черноземов на изученных участках.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта российского научного фонда № 24-17-00154 «География, свойства и эталонные функции нативных черноземов лесостепи юга Среднерусской возвышенности».

Литература

1. Афанасьева Е.А. Черноземы Средне-Русской возвышенности. - М.: Наука, 1966. - 224 с.
2. Чендев Ю.Г., Хохлова О.С., Александровский А.Л. Агрогенная эволюция автоморфных черноземов лесостепи (Белгородская область) // Почвоведение. – 2017. – № 5. – С. 515-531.

ОСОБЕННОСТИ ПУЛА ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ В ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВАХ И КУЛЬТУРНЫХ СЛОЯХ ДРЕВНИХ ПОСЕЛЕНИЙ

Чернышева Е.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

e-mail: chernysheva1988@gmail.com

Известны многочисленные исследования, где показаны особенности изменения ферментативной активности в результате смены режима землепользования, распашки, орошения, загрязнения поллютантами и др. [3], а также процессов восстановления ферментативной активности, после прекращения хозяйственного использования почв [1]. Однако до сих пор мало сведений о том, как изменяется активность ферментов, участвующих в циклах основных химических элементов после перехода почвы в погребенное состояние, а также исследования изменений ферментативной активности после прекращения антропогенной деятельности (более 1000 лет), связанной с внесением органических удобрений и селитренной нагрузкой [2].

В связи с этим целью данной работы было оценить изменение активности ферментов циклов углерода, азота, фосфора и серы в разновозрастных погребенных почвах под курганными насыпями, в стратифицированных почвах земледельческих террас, а также в культурных слоях древних поселений.

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 образцах почв определено содержание органического углерода, рН водной вытяжки и гранулометрический состав. Углерод микробной биомассы оценивался по содержанию почвенной двухцепочечной ДНК.

В настоящем исследовании проведено определение активности 11 гидролитических ферментов. Ферментативную активность измеряли с использованием процедуры гетеромолекулярного обмена с разрушением почвенных агрегатов и микробных клеток. Для определения ферментативной активности были использованы флуорогенно-меченные субстраты, которые позволяют сравнивать активности ферментов различных групп между собой.

Всего в работе проанализирован 141 образец почв естественных и антропогенно-трансформированных экосистем, а также культурных слоев разновозрастных археологических памятников. Рассчитана удельная ферментативная активность, выраженная на единицу микробной биомассы, позволяющая судить о ферментативной активности как о результате непосредственной деятельности почвенных микроорганизмов.

Во всех случаях ферментативная активность изученных почв уменьшалась в следующем ряду: щелочная фосфатаза > фосфодиэстераза > кислая фосфатаза > пиррофосфатаза ≥ 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, органического углерода и углерода микробной биомассы. Однако полученные результаты могут говорить 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 атмосферных осадков, но, вероятно, существенное значение имел и состав растительности, а также насыщенность почвенного поглощающего комплекса кальцием.

Распашка почв привела 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 погребенных почвах, в условиях отсутствия поступления свежего органического материала, происходит уменьшение ферментативной активности пропорционально времени нахождения почвы в погребенном состоянии, а активность таких ферментов как арилсульфатаза, α-глюкозидаза и целлюбиогидролаза не определялась.

Ферментативная активность, выраженная на единицу микробной биомассы, в большей степени отражает факт привноса органических материалов в почвенную толщу. Попадание органических материалов увеличивало скорость продуцирования ферментов микроорганизмами и приводило к накоплению избыточного количества ферментов, которые затем связывались с органоминеральным комплексом почв, что обусловило сохранение повышенного уровня их активности на протяжении более 4000 лет.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 22-68-00010.

Литература

1. Собина А.С., Хачиков Э. А., Шмараева А. Н., Федоренко А. Н., Приходько В.Д., Казеев К.Ш. Биологическая активность чернозема обыкновенного через 5 лет после прекращения агрогенной обработки // Агрехимический вестник. 2022. № 1. С. 22–26.
2. Chernysheva E., Korobov D., Khomutova T., Fornasier F., Borisov A. Soil microbiological properties in livestock corrals: An additional new line of evidence to identify livestock dung // J. Archaeol. Sci: Rep. 2021. V. 37. 103012
3. Moghimian N., Hosseini S.M., Kooch Y., Darki B.Z. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities // Catena. 2017. V. 157. P. 407–414.

МЕТАГЕНОМНЫЙ АНАЛИЗ КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ ПОЧВ ПОСЕЛЕНИЙ ЭПОХИ БРОНЗЫ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

И. А. Шаев^а, В. Н. Пинской^а, А. В. Борисов^а

^аИнститут физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская, 2, Пущино, 142290 Россия
e-mail: algimantas444@mail.ru

Проведён метагеномный анализ прокариотических сообществ для почв поселений эпохи поздней бронзы (XII-X вв. до н.э.) Тюмень-3 (жилая постройка), Тюмень-7 (загон для скота) в системе водосбора озера Сасык-Сиваш близ Евпатории. Образцы фоновой почвы отобраны на участке с однотипными геоморфологическими и литологическими условиями в 2 км ниже по течению балки Тюмень. Объекты расположены в сухостепной зоне западной части Крыма.

В ходе исследования были проанализированы зависимости относительной численности таксонов и альфа-разнообразия по Шеннону от глубины.

Бактериальные сообщества горизонтов фоновой почвы сформированы, главным образом, филумами *Actinobacteria* (35,25 - 37,27%), *Planctomycetes* (12,03 - 14,83%), *Proteobacteria* (10,04 - 11,26%), *Chloroflexi* (8,62 - 11,47%), *Acidobacteria* (9,99 - 11,49%), *Firmicutes* (3,62 - 4,32%), *candidate division WPS-1* (2,39 - 3,83%), *Verrucomicrobia* (3,50 - 4,53%), *Gemmatimonadetes* (2,41 - 5,90%) и *Bacteroidetes* (1,12 - 1,38%). Среднее значение индекса Шеннона составляет 3,86; вариации с глубиной незначительны.

В почвах загона для скота среднее значение доли *Actinobacteria* составляет 29,5%, вдоль профиля наблюдаются колебания в пределах 26,6 – 34,5%. Существенно изменяются с глубиной доли представителей *Proteobacteria* и *Chloroflexi* с тенденцией к увеличению: от 13,4 до 26,1% и от 11,8 до 18,7% соответственно. Показатель процентного отношения для *Planctomycetes* наоборот с глубиной уменьшается от 14,7 до 7,9%. Остальные типы существенных колебаний в представленности на разных глубинах не обнаруживают. Среднее значение индекса Шеннона составляет 4,22, а максимальное – 4,35, что говорит об увеличении прокариотического биоразнообразия относительно фона (для глубин до 70 см разница средних значений индекса составляет 0,4).

В культурном слое в жилой постройке *Actinobacteria* составляют в среднем 32,65%, интервал изменений – от 26,81 до 36,89%, тенденций к увеличению или уменьшению с глубиной не отмечается. Для остальных филумов также характерны незначительные вариации в зависимости от глубины, доли *Proteobacteria*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *candidate division WPS-1*, *Verrucomicrobia*, *Gemmatimonadetes* и *Bacteroidetes* составляют в среднем 9,25, 11,3, 4,24, 2,71, 3,33, 4,50, 1,01 и 2,28%. *Planctomycetes* (13,59%) и *Chloroflexi* (8,43%) уменьшаются с глубиной от 19,86 до 10,80 и от 11,15 до 7,25% соответственно. *Euryarchaeota* (6,68%) демонстрируют рост с глубиной от 0,25 до 11,96%. Величина индекса Шеннона находится в пределах 3,9 – 3,5, уменьшаясь с глубиной.

Результаты анализа зависимости относительной численности представителей почвенных прокариотических сообществ от глубины не выявили значимых тенденций в зависимости от типа объекта: в фоновых почвах и почвах загона для скота изменения по глубине незначительны и носят стохастический характер. Для культурного слоя жилой постройки выявлена аналогичная закономерность за исключением представителей *Euryarchaeota*, доля которых с глубиной возрастает. Таким образом, характер антропогенного влияния на почвы в древности не отражается на относительной численности прокариотических таксонов и их вариабельности по глубине, а также на разнообразии сообществ (энтропия Шеннона).

Работа выполнена в рамках плановых НИР по гранту РФФИ 22-68-00010.

ПРОБЛЕМЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ И ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

УДК 631.41

ТИПЫ МИГРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЕ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Асгерова Д.Б., Абдурашидова П.А., Желновакова В.А.

Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Россия, 367000,
г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45; E-mail: asdi7408@mail.ru

Важной характеристикой образования солевых горизонтов является миграция и изменение качественного состава солей и их зависимость от комплекса факторов, среди которых ведущее место принадлежит динамике уровня Каспия, выпасу скота, сезонным, многолетним изменениям количества атмосферных осадков и среднегодовой температуре воздуха. Характерной особенностью распределения осадков является максимальное их количество в летний период при минимальных значениях гидротермического коэффициента.

Почвенный покров региона формируется в условиях сухого полупустынного климата на дельтово-аллювиальных отложениях различного возраста и гранулометрического состава. Пространственное распространение различных типов почв и систематический уровень генетических их свойств отражают существенное влияние Каспийского моря, оказывающего влияние на минерализацию грунтовых вод и усиление солончакового процесса. Из работ имеющих фундаментальное значение следует отметить исследования А.П. Виноградова [1] по геохимии редких элементов, В.В. Ковальского [2] по геохимической экологии, В.А. Ковды [3] по круговороту веществ в биологических циклах, А.И. Перельмана [4] по геохимии биосферы и др.

Сезонная динамика и аккумуляции солей в Терско-Кумской низменности иллюстрируют стабильный характер засушливого периода года и его доминирующее положение в формировании солевого режима и процессов соленакопления. Высшая стадия соленакопления и усиление миграционных процессов способствуют формированию галогенно-активной части профиля, как ведущего фактора регрессивной эволюции почв Прикаспийской низменности [5,6,7].

На основании проведенных исследований составлена обобщенная сводка для почв и почвообразующих пород Терско-Кумской низменности. С миграционными процессами связано первичное почвообразование, где разложение первичных минералов (полевые шпаты, кварц, слюды) сопровождается выделением биофильных элементов, необходимых для роста и развития растительного покрова на засоленных породах. Их накопление носит кратковременный характер с минимальной продолжительностью циклов миграции растворимой части почвы. Первичное почвообразование протекает на засоленных породах в качестве начальной стадии процессов галогенного типа почвообразования (табл. 1) – по таблице геохимических аспектов миграции.

Циклы миграционной динамики солей, отражающие количественные показатели временно-функционирующих комбинаций, выделяются как среда обитания живых организмов.

В отличие от содержания, вкладываемого в общепринятые термины, принята попытка по-новому с соответствующим основанием осветить классификационный подход, используя

Таблица 1. Геохимические аспекты миграции солей

Циклы миграции солей	Функционирование почвенных процессов	Продолжительность	Стадии почвообразования
Трансформация поверхности	Стадийное	Кратковременная	Первичная
Накопление	Неравномерное, изменчивое	Сезонная	Солончаковая
Миграция (нисходящая)	Обратимость. стабильная	Годовая	Солонцеватая
Миграция (в восходящем направлении)	Динамичность	Многолетняя	Солончаковато-солонцеватая
Трансформация почв	Сменяемость разновидностей почв	Вековая	Полугидроморфная
Эволюция типа почв	Устойчивое	Геологическая (четвертичная)	Автоморфная

спектры засоления во взаимосвязи и взаимной обусловленности в течение определенного периода времени. Вследствие обратимого характера и изменчивости они функционируют во временных масштабах, продолжительность которых укладывается в широком диапазоне. Радикальные изменения в циклах миграции солей отмечаются при эволюции типов почв с продолжительностью в пределах геологического отрезка времени Новокаспийского яруса.

Прогрессирующее влияние потепления климата и аридизации земель с проявлением морфологической солонцеватости обнаруживается в континентальной части региона, формируя различия в продолжительности циклов миграции солей.

Приведенные циклы миграции вызывают изменения в составе и содержании солей и показателях солонцеватости в пределах, значительно превышающих установленные диагностикой и классификацией почв дельтово-аллювиальных равнин. Учет выявленных изменений свидетельствует о ведущей роли микрорельефа и геологических пород на формирование состава и структуры геохимического районирования.

Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах // Геохимия, - 2-е изд. М., 1957. Т. 286. С. 286-287.
 2. Залибеков З.Г. Сезонная миграция солей в засоленных почвах дельты Терека. // Почвоведение, 1986. №1. С. 73-78.
 3. Залибеков З.Г., Муртазалиева М.Е., Загидова Р.М., Бийболатова З.Д. Почвенные ресурсы аридных экосистем Западного Прикаспия. // Биологические проблемы и перспективы их изучения в регионах Каспийского моря. Махачкала, 1999. С. 27-36.
 4. Залибеков З.Г. Процессы опустынивания и их влияние на почвенный покров // Махачкала: ГИБР ДНЦ РАН. М., 2000. 220 с.
 5. Ковальский В.В. Геохимическая экология: Очерки // АН СССР. Ин-т геохимии и аналит. химии им. В. И. Вернадского. М.: Наука, 1974. 299 с.
 6. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. М.-Л.: изд. АН СССР, 1976. часть 1, С. 568-569.
 7. Перельман А. И. Геохимия биосферы. М.: [Наука](#), 1973. 168 с.
- Фридланд В.М. Опыт почвенно-географического разделения Кавказа. Вопросы генезиса и географии почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1958. С. 319-347.

О ВРЕМЕННО-ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ СВОЙСТВАХ АРИДНЫХ ПОЧВ В БОРЬБЕ С ОПУСТЫНИВАНИЕМ ЗЕМЕЛЬ

Залибеков З.Г., Мусалаева П.Д., Залибекова М.З..

Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, 367030,
ул. Ярагского, 75, г. Махачкала, Республика Дагестан, Россия. E-mail: bfdgu@mail.ru

Длительное применение методов классического земледелия привело к интенсивному освоению почвенных ресурсов в глобальном масштабе. Исходной основой такого подхода стало целевое использование почв на основе учета свойств и процессов почвообразования. Местные локальные временно-функционирующие свойства и их комбинации, связанные с процессами засоления, увлажнения и миграцией твердой фазы почв, учитывались в порядке дополнительных факторов. Такой подход, как отметил В.А. Ковда (1985), был оправдан в предшествующие периоды развития сельскохозяйственных отраслей в условиях наличия неосвоенного потенциала почвенных ресурсов. Однако, развитие земледельческих отраслей шло по закономерностям, обусловленным зональными процессами, включая явления, находящиеся вне сферы действующего земельного комплекса. Негативное влияние этого процесса проявилось в засушливых регионах, особенно в условиях опустынивания земель. Из неизученных факторов, связанных с рациональным использованием аридных земель, следует отметить отсутствие исследований по ресурсо-ведческому потенциалу почв в различные сезоны года и межсезонные интервалы времени: осенне-зимнего, зимне-весеннего, весенне-летнего. Особенности временно-функционирующих водного, водно-теплового, водно-солевого режимов почв заметно отличаются от условий роста и развития растений, принятых в южных регионах Европейской части России. Учитывая особенности происходящих процессов, проводится оценка временно-функционирующих комбинаций, способных восстановить ресурсы деградированных почв, превратив их в благоприятную временную среду для возделываемых растений.

Для создания условий восстановления почвенно-растительного покрова с учетом потенциала временно-функционирующих свойств почв, проведены экспериментальные работы на территории Кочубейской биосферной станции, расположенной в центральной части Терско-Кумской низменности. Объект исследования – светло-каштановые карбонатные среднесуглинистые почвы под эфемерно-попынной растительностью.

В Терско-Кумской низменности представлен спектр наиболее аридных разновидностей каштанового типа почвообразования с непромывным типом водного режима. Развитие их протекает в условиях периодического изменения параметров водного режима почв, способствуя переводу их из одной категории, свойственной засушливому климату летнего сезона с нормой осадков 60–80 мм, в другую, увлажненную, со значительным количеством осадков 110–160 мм.

Относительно плодородия следует отметить низкую обеспеченность гидролизуемым азотом (3,0–3,5 мг/100 г), средней степени подвижным фосфором (1,7–2,0 мг/100 г) и высокой степенью – калием (26,9–27,9 мг/100 г). Высокое содержание калийных соединений объясняется обогащенностью почвообразующих пород первичными минералами – полевыми шпатами, слюдами и др.

Рассматриваемая почва с физико-химическими свойствами, характерными для аридных условий, использована в качестве объекта экспериментального изучения временно-функционирующих свойств водного, солевого режима почв при выращивании рапса озимого.

Продолжительность периодов с оптимальными условиями роста и развития возделываемых растений складывается из 2-х частей: первая - весенняя и осенне-зимняя, продолжительностью 55–60 дней; вторая - представляет отрезок времени осеннего, зимне-весеннего периодов продолжительностью 25–40 дней, отличается уменьшением физического испарения, транспирации растений и насыщенностью почв влагой до максимума.

Развитие растений с короткой вегетацией на каштановой карбонатной почве с отмеченной величиной урожая подтверждается высотой общего травостоя 60–90 см и отдельных экземпляров более 1 метра. Определяющим фактором является аккумулялирование влаги в почве в слое

(0–20 см), составляющая 25–30% полевой влагоемкости в течении периода, продолжающегося с первой декады апреля до конца мая. Использование почвенной влаги, накопленной в зимне-весенний, весенне-летний сезоны выступает в качестве фактора повышения продуктивности почв и борьбы с опустыниванием земель.

Выявление этой закономерности дает возможность использовать ресурсы биологического потенциала почв и растительности в возрождении деградированных пастбищных земель засушливых районов юга России на площади более 10 млн. га.

Учет и использование особенностей влияния летнего анабиоза растений имеют важное значение: во-первых, определяется фактор продолжительности вегетации растений и период накопления зеленой массы; во-вторых, выявляется один из основных методов борьбы с опустыниванием земель и аридизацией. Функции установления параметров временных свойств почв рекомендуется использовать для дополнения классических методов земледелия, применительно к условиям опустынивания и аридизации.

В результате проведенной работы обосновано создание концепции новой системы земледелия для аридных почв в условиях острой нехватки почвенной влаги с использованием потенциала, создаваемого сменой сезонных процессов. Наиболее важным из них являются показатели водного режима, с нисходящими токами влаги, характеризующие запасы доступной для растений почвенной влаги. Возникла необходимость разработки технологии земледелия для условий опустынивания и выявления сортов культур, отличающихся коротким вегетационным периодом.

Экологическая оценка временно-функционирующих свойств аридных почв и их комбинаций осуществлена на примере почв, генетические свойства которых объективно отражают признаки, способствующие формированию сезонных временно-функционирующих свойств: низкий коэффициент увлажнения летнего периода $K = 0,25–0,40$, слабая выщелоченность от карбонатов и легкорастворимых солей, уменьшение мощности гумусовых горизонтов.

Территория, содержащая элементы временных комбинаций почв, включает реально существующие их разновидности со своими ареалами и площадями. Отличительным признаком их является накопление почвенной влаги для удовлетворения потребности растений. Для них характерны определенный запас влаги и динамическое её изменение во времени. Уровень формирующихся свойств является обратимым и укладывается в рамки типа и подтипа. Представляется возможным использовать временно накопленные запасы почвенной влаги для выращивания кормовых растений с коротким периодом вегетации. Этот процесс протекает до наступления жаркого периода покоя «летнего анабиоза». Технологические приемы использования влаги от зимнего анабиоза до летнего становятся обязательным мероприятием современной земледельческой культуры аридного климатического пояса.

УДК 631.4

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ СТЕПЕЙ КАК ФАКТОР ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ АРИДИЗАЦИИ КЛИМАТА

И.Ю. Кудреватых¹, П.И. Калинин, Г.В. Митенко

¹ФИЦ ПНЦБИ РАН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
РАН, Пушкино, averkieva25@rambler.ru

В.А. Ковда был одним из первых почвоведов, обративших внимание на проблему влияния глобального изменения климата на биосферу, в том числе почвы. В его монографии «Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира» отмечено, что в настоящее время экологическая обстановка на планете характеризуется резко выраженными колебаниями температур и осадков, а также общей тенденцией аридизации, что определяет многие экологические проблемы [1]. Однако предполагают, что, если исключить антропогенное воздействие и связанное с ним опустынивание, изменение климата может повлиять на свойства степных почв только через смену растительности [3]. Изменение структуры растений порождает неоднородность

биогеохимических закономерностей и процессов в различных пространственных масштабах, при этом интенсивность круговорота элементов определяется их объемом, накопленным в подземной и надземной биомассе, и скоростью возврата в верхние горизонты почвы [2]. Существует также видоспецифичность в накоплении химических элементов растениями [4]. Следовательно, пространственная неоднородность почвенных процессов, создаваемая растениями, является важным компонентом оценок биогеохимических процессов на уровне экосистемы. В этой связи, целью данного исследования стала оценка взаимосвязи между реакцией растительности на аридизацию климата и ее влиянием на свойства почв.

Объектами исследования были настоящие, пустынные и опустыненные степи (16 участков) на водосборах с минимальным антропогенным воздействием, где по климатическому градиенту отбирали образцы растений и почв. Тип почвы изучаемой территории на севере был представлен Endosalic Kastanozems и Endosalic Calcisols, а на юге - Luvic Calcisols. Среднегодовое количество осадков (MAP) варьировало от 160 до 450 мм, среднегодовая температура (MAT) изменяясь от 5 до 10°C, индекс засушливости климата де Мортонна (IDM) составил 10–25. В полученных пробах растений ($n = 478$) и почвы ($n = 149$) измеряли концентрацию Ca, K, Al, S, Mg, P, Cl, Fe, Ti, Zn, Mn, Cr, Sr, Ba и Rb методом рентгено-флуоресцентного анализа с помощью сканирующего спектрометра «СПЕКТРОСКАН МАКС – GV» (Россия). С помощью метода Монте-Карло был проведен расчет поступления химических элементов с растениями в верхние слои почв, который состоял из 3 этапов: 1 - расчет извлечения элементов корневыми системами растений из почвы и атмосферы ассимилирующими органами с последующим накоплением их в ежегодно продуцируемом органическом веществе; 2 - расчет возврата элементов на поверхность почвы и в почву в виде мертвых растительных остатков; 3 - расчет высвобождения элементов в процессе разложения растительных остатков. Для выявления качественного перехода поступления элементов с растительностью в верхние слои почв в зависимости от климатических параметров исследованные участки делили на группы с разной частотой изменения климатического параметра, а достоверность различия каждой группы оценивали однофакторным дисперсионным (ANOVA) и апостериорным (критерий Тьюки) анализами.

Выявлено, что при аридизации в степной зоне происходит смена растительных сообществ в ряду злаковая → злаково-разнотравная → злаково-полынная → полынно-злаковая → полынно-маревая ассоциация. В этом ряду уменьшается биомасса и биопродуктивность степных ландшафтов, но происходит увеличение накопления химических элементов, связанных с солями: Ca, Mg, Na, S, Sr. Таким образом, аридизация климата приводит не только к уменьшению продуктивности ландшафтов и развития таких деградационных процессов, как эрозия и опустынивание, но и к смене их биогеохимических свойств. Аккумуляция аридными видами узкого спектра химических элементов (Ca, K, S, Cl) ассоциирующихся с солями, ведет к дальнейшей деградации почвенного покрова и снижению его устойчивости. Снижение уровня атмосферных осадков приводит к засолению средней части почвенного профиля, а биогенная миграция катионов и анионов солей увеличивает еще выше их накопление в гумусовых горизонтах. Мобилизация таких элементов приводит к развитию ряда деградационных процессов, например, засоления и осолонцевания.

В более влажных настоящих степях, где распространена злаково-полынная ассоциация, эти процессы проявляются в меньшей степени. Здесь растения накапливают более широкий спектр элементов (Ti, Fe, Al, V, Rb, Ba, Mn, Cr, Mg, Sr, Ni, Zn, K, P и Ca). Однако отмечают, что широко развитый на этих территориях выпас домашнего скота способствует снижению биомассы злаков, в результате чего здесь начинают формироваться более бедные ландшафты, аналогичные южным, в которых преобладают полыни. Подобное влияние имеет и аридизация климата, которая определяет смену злаковых ассоциаций с начала на многотравную, а затем на полынно-маревую. В свою очередь это приводит к подтягиванию анионов и катионов солей в верхние горизонты, что приводит к развитию деградационных процессов, связанных с засолением.

Таким образом, аридизация климата и антропогенная нагрузка ведет к деградации степных ландшафтов, что проявляется как в смене качественного и количественного состава растительного покрова, так и в смене физико-химических свойств почв. В результате, глобальное потепление климата и антропогенная деятельность запускают механизм, при котором все компоненты засушливых ландшафтов стремятся к его деградации.

Литература

1. Ковда В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира /под ред. Е.И. Панкова, И.П. Айдарова; Инст-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. – М.: Наука. 2008. 415 с.
2. Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Шмакова Е.И., Снытко В.А., Дубынина С.С., Магомедова Л.Н., Нефедьева Л.Г., Семенюк Н. В., Тишков А.А., Ти Тран, Хакимзянова Ф.И., Шатохина Н.Г., Кыргыз Ч.О., Самбуу А.Д. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / под ред. А. А. Титлянова, Н. И. Базилевич, В. А. Снытко и др. - Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 с.
3. Kalinin P.I., Kudrevatykh I.Yu., Malyshev V.V., Pilguy L.S., Buhonov A.V., Mitenko G.V., Alekseev A.O. Chemical weathering in semi-arid soils of the Russian plain. *Catena*. 2021. Vol. 206, P. 105554. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105554>
4. Kudrevatykh I.Y., Kalinin P.I., Mitenko G.V., Alekseev A.O. The role of plant in the formation of the topsoil chemical composition in different climatic conditions of steppe landscape. *Plant Soil*. 2021. Vol. 465. P. 453–472. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05019-3>

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ЗАСОЛЁННОСТЬ ПОЧВ НА СЕВЕРЕ КРЫМА

Новицкий М.Л.^{1,2}, Ергина Е.И.¹

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
295007, Симферополь, Россия, maxim.novickiy@bk.ru

²Никитский ботанический сад, Национальный научный центр, 298648, Ялта, Россия

Влияние Северо-Крымского канала оказывало существенное воздействие на развитие сельского хозяйства в северной части полуострова. После известных событий подача днепровской воды по каналу была прекращена. Ландшафты, которые были трансформированы под действием потоков вещества и энергии, не свойственных зональным геосистемам, почти полувековой продолжительности, вновь подверглись процессам трансформации. Поэтому **целью** нашей работы стала оценка влияния современного постирригационного этапа на функционирование почв на территории северного Присивашья.

Присивашская пониженная равнина является зоной аккумуляции солей, в которую последние поступают с грунтовым током из южной степной части Крыма, а также из Сиваша.

На обследованных территориях выделены лугово-каштановые почвы, солонцы луговые, различающиеся по степени засоления, солонцеватости, глубине залегания верхнего солевого горизонта.

Для изучения современного состояния почв на ключевом участке было заложено 4 разреза:

Разрез 1. Залежь, в 5 метрах от проселочной дороги. Участок хорошо задернован травянистой растительностью;

Разрез 2. Поле, орошаемое до 1989 года. В настоящее время, засеянное озимой пшеницей;

Разрез 3. Суходол, полив не осуществлялся, засеянное озимой пшеницей;

Разрез 4. Рисовые чеки, заливной режим до 2014 года. В настоящее время засеяно ячменем.

В первом разрезе (залежь) сумма обменных оснований 23,3–32,1 мг-экв/100 г, что свидетельствует о высокой поглотительной и обменной способности. Из обменных катионов преобладал кальций (32,1–74,9% от суммы поглощенных оснований), магний составил 25,0–52,1%. Количество поглощенного натрия с глубиной увеличивалось и составляло от 0,1 до 27,2%. Максимальное количество обменного натрия сосредоточено в слое 60–140 см (11,1–27,2%). Очень высокая доля магния – 35,3–52,1% от суммы поглощенных оснований.

Почва засолена легкорастворимыми солями с глубины 80–100 см, сумма солей составила 1,1–1,6%. По глубине залегания (верхней границе) солевого горизонта почва первого разреза

(неорошаемая) относится к глубокосолончаковатой. Из солей преобладали сульфаты: в слое 80-140 см их содержание составило 0,6-0,9%. Сода встречается в количестве 0,04-0,16 мг-экв/100 г слое 33-80 см. Токсичные сульфаты и хлориды встречаются в концентрациях 8,74-9,26 мг-экв/100 г и 0,96-4,80 мг-экв/100 г почвы, соответственно (разрез 1).

Во втором разрезе (орошаемое поле) сумма обменных оснований 23,3-27,3 мг-экв/100 г почвы. Содержание обменного натрия по профилю составляет 0,1-2,9% от суммы оснований, что при высоком содержании обменного магния свидетельствует о слабой солонцеватости почвы. Из поглощенных катионов преобладал кальций, который составил в основном 55,0-75,5% от суммы катионов, редко его содержание было ниже (50,6 %) за счет высокого содержания обменного магния, количество которого в основном составило 24,2-39,0%, редко повышалось до 49,4%.

Анализ водной вытяжке показал, что на всю глубину почвенного профиля почва не засолена; сумма солей не превышает 0,07% и только в слое 0-10 см составило 0,14%.

В третьем разрезе сумма обменных оснований была на уровне 21,2-29,9 мг-экв на 100 г почвы. Содержание обменного натрия по профилю составляет 0,1-15,4 % от суммы оснований, что при высоком содержании обменного магния свидетельствует о слабой солонцеватости почвы. В слое 60-120 см содержание обменного натрия достигает 12,3-15,4% от суммы поглощенных оснований. Из поглощенных катионов преобладал кальций, который составил в основном 38,1-84,0% от суммы катионов, высокое содержания обменного магния, количество которого в основном составило 15,9-48,8% от суммы катионов. Очень высокая доля поглощенного магния усиливает неблагоприятные свойства почвы.

Почва засолена с глубины 80-120 см, где сумма солей составила 0,6-1,1%. По глубине залегания верхней границы солевого горизонта почва третьего разреза (неорошаемая) относится к глубокосолончаковатой. Из солей преобладали сульфаты: в слое 80-120 см их содержание составило 0,29-0,74 %/ Содержание хлоридов в слое 40-120 см составило 0,02-0,08% (содержание хлоридов превышает порог токсичности в 0,01%). Сода встречается в количестве 0,04 мг-экв/100 г почвы в слое 40-80 см. Гипс встречается в слое 80-120 см и его содержание составляло 1,96-6,32 мг-экв/100 г почвы. Тип засоления в слое 80-120 см – сульфатный, по катионному составу магниевое-кальциевый и магниевое-натриевый. Степень засоления – сильная и средняя.

В четвёртом разрезе (бывший рисовый чек) сумма обменных оснований 22,67-28,52 мг-экв/100 г почвы. Содержание обменного натрия по профилю составляло 0,3-1,2% от суммы поглощенных оснований. И по этому параметру почва относится к не солонцеватой. Из поглощенных катионов преобладал кальций, который составил в основном 54,7-83,3% от суммы катионов; содержания обменного магния составило 16,4-44,1% от суммы катионов.

Анализ водной вытяжке показал, что на всю глубину почвенного профиля почва не засолена, сумма солей не превышает 0,08% по профилю.

Таким образом. Нами установлено, что почвы, которые орошались в различные периоды времени (разрезы 2, 4) по степени засоления относятся к незасолённым. Почвы без орошения (разрезы 1, 3) с глубины 60-80 см средне- и сильно засолены, тип засоления хлоридно-сульфатный.

Исследование было поддержано грантом Российского научного фонда № 24-17-20020.

УДК 631.4

КЛИМАТ ПОЧВ ПРИКАСПИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Решоткин О.В.¹, Алябина И.О.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, 2, e-mail: reshotkin@rambler.ru

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские Горы, 1, e-mail: alyabina@yandex.ru

Проблема аридизации суши и связанная с ней проблема достижения продовольственной безопасности занимает важное место в трудах В.А. Ковды. В настоящее время в связи с глобаль-

ным потеплением данная проблема приобрела значительную актуальность, что связано как с масштабом происходящих климатических изменений, так и с их потенциальными последствиями для состояния ландшафтов и сельского хозяйства. Цель работы – изучить динамику климата почв Прикаспия в связи с современным изменением атмосферного климата. Для изучения климата почв Прикаспия нами использованы данные наблюдений за температурой воздуха и почвы, осадками и снежным покровом на метеостанции Астрахань (46°17' с.ш., 47°59' в.д., высота – -22 м). Метеостанция расположена на Прикаспийской низменности в зоне полупустынь. Исследуемая почва – аллювиально-луговая среднесуглинистая. Согласно почвенно-географическому районированию России исследуемые почвы относятся к Прикаспийской провинции зоны светлокаштановых и бурых почв полупустыни. В качестве климатической нормы (КН) взят период 1961–1990 гг.

По данным почти двухвековых наблюдений на исследуемой территории отмечается существенный рост температуры воздуха. За период 1837–2023 гг. средняя годовая температура воздуха в Астрахани выросла на 1.8°C. Начиная с 1970-х гг. наблюдается увеличение среднедесятилетних среднегодовых температур воздуха каждое последующее десятилетие до максимальных значений в 2011–2020 гг. За период 1961–2020 гг. среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1.9°C. Потепление наблюдается во все сезоны года, но особенно оно выражено в зимний и летний сезоны. При этом за последние три десятилетия рост температуры воздуха ускорился в 2 раза. Сумма активных температур воздуха выше 10°C увеличилась за период 1961–2020 гг. на 469°C, а сумма температур воздуха ниже 0°C, наоборот, уменьшилась на 221°C.

Исследуемая территория относится к сухой зоне увлажнения. КН среднегодового количества осадков составляет 206 мм. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) – 0.30. 60-ти и 30-ти летние тренды осадков имеют противоположные значения. За период 1961–2020 гг. годовое количество осадков увеличилось на 20 мм или 9%, за счёт увеличения весенних осадков. В то же время за период 1991–2020 гг. наблюдается тенденция уменьшения осадков (на 87 мм или 42%), в основном за счёт значительного уменьшения летних осадков. Анализ динамики ГТК за 1961–2020 гг. показал чередование сухих периодов 1961–1980 и 2001–2020 гг. (средний за десятилетие ГТК – 0.27–0.29) и более влажного периода 1981–2000 гг. (ГТК – 0.35–0.41). За период 1991–2020 гг. ГТК уменьшился на 0.24, а коэффициент увлажнения (КУ) Высоцкого-Иванова за аналогичный период уменьшился на 0.20, что свидетельствует о нарастании засушливости климата в последние десятилетия. Уменьшение КУ Высоцкого-Иванова связано как с уменьшением количества осадков вегетационного периода, так и с увеличением испаряемости, что, в свою очередь, обусловлено ростом температуры и снижением влажности воздуха. Среднемесячная высота снега в Астрахани с декабря по март составляет всего 0.6–2.1 см (КН). Такая малая мощность снежного покрова способствует промерзанию почвы в холодный период года. За период 1961–2020 гг. высота снега увеличилась на 0.5 см в ноябре и декабре и уменьшилась на 0.1–0.8 см в январе, феврале и марте.

Средняя годовая температура почвы в Астрахани составляет 12.6°C на глубинах 20 и 40 см, и 12.5°C на глубинах 80 и 160 см (КН). Тренды среднегодовой температуры почвы за период 1961–2020 гг. на всех глубинах положительные. За 60-летний период температура почвы на данных глубинах увеличилась на 2.4–2.6°C, что превышает увеличение температуры воздуха за аналогичный период на 0.5–0.7°C. Сопоставление средних многолетних значений температуры почвы в 2011–2020 и 1961–1990 гг. показывает более значительное потепление почвы в летний сезон на глубине 20 см и летний и осенний сезоны на глубинах 80 и 160 см. Температура воздуха при этом увеличилась больше всего летом и меньше всего осенью. Такое смещение потепления почвы с глубиной в сторону осеннего сезона связано с постепенным распространением тепловой волны сверху вниз в более глубокие слои почвы. Глубина проникновения температуры 0°C в почву в 2011–2020 гг. уменьшилась относительно КН с 56 до 23 см. Сумма температур почвы

ниже 0°C на глубине 20 см уменьшилась на 103°C, а сумма температур почвы выше 10°C увеличилась на 392°C.

Таким образом, современное потепление сопровождается накоплением тепла в профиле почвы. Особенно интенсивное накопление тепла в почве отмечается в последние два десятилетия. Наблюдаемое существенное потепление почв в сочетании с уменьшением влажности и увеличением испаряемости с поверхности почвы ведёт к развитию негативных процессов в почвах аридных территорий. В почвах сухостепной и пустынно-степной зоны можно ожидать усиления аридизации и связанных с ней процессов окарбонирования, засоления, и осолонцевания почв, формирования почвенных засух. Выявленные изменения атмосферного и почвенного климата позволяют по-новому оценить почвенные и агроклиматические ресурсы Прикаспия.

Работа выполнена по теме государственного задания № 122040500036–9 и теме № 1736–р Аграрного центра МГУ имени М.В. Ломоносова.

УДК 631.41

ПОЧВЫ КУЧУК-КУЛУНДИНСКИХ ПРИОЗЕРНЫХ ЛАНДШАФТОВ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ): ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ, ЗАСОЛЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИИ

Симонова Ю.В.^{1*}, Касаткина Г.А.², Чарыкова М.В.¹

Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, Россия, 199034

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Биржевой пр., 6, Санкт-Петербург, Россия, 199034

*uvsim@yandex.ru

Характерной особенностью территории степной Кулунды является комплексность, связанная с различным характером увлажнения и солевого режима, вследствие чего возникает пестрота растительности и почв. Наряду с этим важной характеристикой для формирования комплексного почвенного покрова степной Кулунды является наличие большого количества и разнообразия озёр – пресных, солоноватых и солёных.

Особенностью химического состава грунтовых вод этой области является высокая доля участия в составе солей сульфатов и гидрокарбонатов. Минерализация грунтовых вод может достигать 220 г/л [1].

Рельеф изученной нами территории представляет собой серию концентрических озерных террас, образовавшихся при сокращении четвертичного водного бассейна, от которого остались озера Кулундинское и Кучукское, – два самых крупных озера Алтайского края.

Согласно почвенно-экологическому районированию России [2] рассматриваемая территория находится на границе двух зон – зоны обыкновенных и южных черноземов степи и зоны темно-каштановых и каштановых почв сухой степи. Черноземы и каштановые почвы формируются на водораздельных территориях при глубоком залегании грунтовых вод. На пониженных участках слабоволнистой равнины формируются лугово-черноземные и лугово-каштановые почвы. Приозерные ландшафты, в том числе понижения и террасы характеризуются широким развитием комплексов с участием солонцов и наличием солончаков.

При изучении основных компонентов комплексов приозерных ландшафтов – черноземов и каштановых почв, занимающих террасы и приводораздельные пространства, на уровне макро- и мезоморфологии нами были отмечены черты, характерные для провинции: короткий гумусовый профиль, невысокое содержание органического вещества, языковатость, залегание карбонатов на небольшой глубине.

Мощность гумусового горизонта у черноземов южных не превышает 40 см и 10–15 см у каштановых почв. Значение гумуса изученных черноземов составило 3–4%, что типично для южных западносибирских черноземов. В каштановых почвах содержание гумуса – около 2%.

Рассмотренные нами почвы относятся к высококарбонатным. Встречаются как варианты почв с внутрипрофильным максимумом содержания карбонатов, так и варианты с нарастанием карбонатности с глубиной, когда максимум приходится на почвообразующую породу. Аккумулятивно-карбонатный горизонт при этом выделяется по наличию морфологически более выраженных форм по сравнению с почвообразующей породой.

Характер карбонатных новообразований в черноземах южных и каштановых почвах указывает на динамичность карбонатного профиля, колебания уровней промачивания и подтягивания растворов к поверхности. При полевом наблюдении почв карбонатные горизонты выделяются за счет общего осветления в профиле в результате карбонатной пропитки, хорошо заметных пропиточных пятен (разрозненных и в виде скоплений), прослоев-полос, вытянутых по горизонтали и вертикали. При мезоморфологических исследованиях видны многочисленные признаки перекристаллизации кальцита, карбонатные кутаны, тяжи.

Отмеченные особенности карбонатного профиля не встречаются в литературе по почвам Кулунды. При наличии подобных карбонатных новообразований черноземы южные по Классификации 2004 г. следует диагностировать как черноземы дисперсно-карбонатные.

В каштановых почвах карбонатные новообразования выражены лучше по сравнению с черноземами, то есть представлены в виде более оформленных конкреций, но все же не соответствующих представлениям о белоглазке.

Почвенный поглощающий комплекс черноземов и каштановых почв насыщен основаниями, среди которых преобладает кальций. Однако содержание обменного натрия в гумусовых горизонтах в количестве более 10% от емкости катионного обмена в сочетании с такими морфологическими признаками этих горизонтов, как высокая плотность, крупнопризматическая структура, потечность органического вещества, относит почвы к солонцеватым разностям. Также достаточно велика в них доля обменного магния – 20% и более от емкости катионного обмена.

Рассмотренные черноземы и каштановые почвы относятся к засоленным. В вертикальном распределении солей изученных почв выявлена тенденция к срединно-аккумулятивному виду. Максимальные концентрации солей обнаруживаются на глубине около 60 см у черноземов и около 35 см у каштановых почв, тогда как поверхностное засоление выражено менее заметно. В горизонтах максимума соленакопления сумма солей находится на уровне 0.5%, у каштановых почв – свыше 1%. Почвы относятся к сильной и очень сильной степени засоления. По глубине горизонта соленакопления это солончаковые и солончаковатые разности. Наибольшую долю в составе анионов имеют сульфаты, в составе катионов – натрий. Сода в солевом составе не преобладает, но имеет высокие концентрации. Выявленные особенности засоления характерны для области содово-сульфатного засоления, к которой В.А. Ковда отнес Кулундинскую степь [1].

Контрастным компонентом почвенного покрова являются почвы, расположенные под лесополосами. Изученная нами почва под лесополосой из тополевого отличалась более высоким содержанием гумуса (свыше 5%), оподзоленностью нижней части гумусовой толщи, выщелоченностью всего профиля от солей и до глубины 80 см от карбонатов. Это позволило диагностировать почву как чернозем выщелоченный (чернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный).

Таким образом, пестрота почвенного покрова Кучукско-Кулундинских приозерных ландшафтов определяется не только влиянием общезональных и провинциальных факторов, связанных с литолого-геохимическими особенностями территории, но и влиянием локальных факторов, способных обеспечить различие почв на высоком таксономическом уровне.

Литература

1. Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. 1. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1946.
2. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:8 000 000. Пояснительный текст и легенда к карте: Учебное пособие / Отв. ред. И. С. Урусевская. М.: МАКС Пресс, 2020.

УДК 631.4

ВКЛАД В.А. КОВДЫ В ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН ВТОРИЧНОГО ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Собисевич А.В.

Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН,

г. Москва, ул. Балтийская, д. 14

Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва, Миусская площадь, д. 6

sobisevich@mail.ru

Виктор Абрамович Ковда известен как специалист в области изучения вторичного засоления почв и выработки мер для их мелиорации. Изучение засоленных почв было им начато почти сразу после окончания учебы в Кубанском сельскохозяйственном институте, когда в 1928 г. он подготовил научный отчет «Почвенный покров Благодарненского района Ставропольского округа. В своем отчете он отмечал преобладание в исследуемой местности засоленных почв. Им были детально прослежены сложившиеся на местности почвенные комплексы: солонцы и солончаки занимают большую площадь почти исключительно на аллювиальных отложениях реки Мокрая Буйвола: ближе к руслу реки залегают солончаки, которые по мере удаления от русла и повышения берега переходят в комплекс солончаков и корковых солонцов и, наконец, в глубокостолбчатые солонцы [1, л. 3].

В 1937 г. увидела свет работа В.А. Ковды «Солончаки и солонцы», где ученый определил главную причину рассоления (остепнения) солонцов, в том, что при прекращении влияния минерализованных вод благодаря растительности в почве происходит накопление кальция. По мнению ученого, большую роль в процессе «остепнения» играли землерои, разрыхляющие почву и переносящие кальций из глубоких горизонтов почв на её поверхность [2].

Непосредственно к решению проблемы вторичного засоления почв ученый обратился в 1946 г., когда вышла его двухтомная работа «Происхождение и режим засоленных почв». В предвоенные годы на территории СССР шло создание ирригационной сети, что приводило к развитию вторичного засоления почв. К 1946 г. согласно статистике В.А. Ковды такие ирригационные оазисы на территории СССР как Центральная и Западная Фергана имели до 60 % пустующих и засоленных земель. Опубликованная работа состояла из трех частей «Общие закономерности процессов миграции и аккумуляции солей», «Процессы засоления почв, грунтов и грунтовых вод», «Водно-солевой режим засоленных почв», «Типы орошаемых оазисов СССР и борьба с засолением почв», «Влияние солей на сельскохозяйственные растения», «Краткий обзор мероприятий по борьбе с засолением почв при орошении» [3, 4]. В этой работе В.А. Ковда резюмировал: *«здесь следует отметить также ошибочный взгляд, что мелиоративное почвоведение к настоящему времени разрешило все неясные вопросы в проблеме освоения засоленных почв и борьбе с засолением... каждый из ирригационных оазисов нашего Союза имеет специфические почвенно-мелиоративные черты, обязанные своеобразному сочетанию его географического положения, происхождения и истории хозяйственной деятельности человека»* [3, с. 11].

В отличие от других ученых-мелиораторов, которые считали проблему вторичного засоления почв решаемой при приложении должных усилий со стороны государства. В.А. Ковда был более скептически настроен, считая вторичное засоление одной из сложнейших проблем в мелиорации почв. Например, он отмечал, что в случае использования промывок засоленных почв, возникнет проблема утилизации дренажных вод, которые не могли быть сброшены в речную сеть [5, л. 4].

В 1968 г. научный совет по проблеме «Теоретические основы почвоведения» при Президиуме АН СССР был преобразован в «Научный совет по проблемам почвоведения и мелиорации почв». Во время заседания совета В.А. Ковда отмечал, что снижение угрозы вторичного засоления почв могло быть только достигнуто, если все хозяйства на орошаемых массивах были бы обеспечены документацией о грунтовых водах, поливных и дренажных режимах, потребностях и приемах промывок засоленных почв [6, л. 135].

В.А. Ковда рассматривал вторичное засоление почв и в своей преподавательской деятельности. В 1978 г. он подготовил материалы лекции «Проблема вторичного засоления и заболачивания почв». Он отметил, что можно сгруппировать известные формы вторичного засоления по категориям: при землепользовании без орошения (в результате перевыпаса скота, вторжения морских вод в результате разрушения дамб, ускоренного образования засоленных аллювиальных почв на территориях дельт); при землепользовании при орошении (образование заболоченных и засоленных почв вдоль необлицованных каналов, образование пятнистости засоленных полей, а вслед за тем и полностью засоленных полей через несколько лет орошения земель в отсутствии соответствующих дренажных сооружений, неправильное применения для поливов солоноватых оросительных вод) [5, л. 20].

Подводя итоги, следует отметить, что изучение вторичного засоления почв было междисциплинарной научной дисциплиной, которая находилась в тесной связи с такими дисциплинами как мелиорация, гидрогеология и гидрохимия [7]. В.А. Ковда, обладая широким научным кругозором в области этих смежных с почвоведением дисциплин, смог достигнуть больших успехов в изучении вторичного засоления почв. В 1968 г. он выступил в качестве генерального докладчика на конгрессе ЮНЕСКО в Париже по теме «Человек и биосфера», которая включала подтему, посвященную вопросам засоления почв [5, л. 20]. Таким образом, В.А. Ковда являлся ведущим специалистом по вторичному засолению почв как в СССР, так и за его пределами.

Литература

1. Архив РАН. Ф. 2081. Оп. 1. Д. 2. Отчет Ковды В.А. по теме "Почвенный покров Благодарненского района Ставропольского округа".
2. Ковда В.А. Солончаки и солонцы. М.-Л., 1936. 245 с.
3. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. Ч. 1. М.-Л., 1946. 568 с.
4. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. Ч. 2. М.-Л., 1947. 365 с.
5. Архив РАН. Ф. 2081. Оп. 1. Д. 50. «Проблема вторичного засоления и заболачивания почв».
6. Архив РАН. Ф. 2081. Оп. 1. Д. 35. «Научно-производственные и политические итоги X-го Международного конгресса почвоведов».
7. Снытко В.А., Собисевич А.В., Шёнфельдер Т. Вторичное засоление почв как эколого-географическая проблема // Эколого-географические проблемы регионов России. Материалы VIII всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 110-летию со дня рождения кандидата географических наук, доцента, заведующего кафедрой геологии и географии, декана факультета естествознания Куйбышевского пединститута Т.А.Александровой. Самара, 2017. С. 225-228.

УДК 631.4

ПОЧВЫ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО РЕГИОНА: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И АГРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Убугунов Л.Л.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670037 Россия; e-mail: l-ulze@mail.ru

На основе анализа литературного материала [4] и собственных многолетних почвенных исследований в бассейне озера Байкал и прилегающих к нему территорий Южной Сибири и Мон

голии представлено разнообразие почв по природно-климатическим зонам и отдельным горным системам. Определены закономерности их пространственного и площадного распределения. Выявлено, что в формировании почвенного покрова большое участие принимают явления инверсии, миграции, интерференции. Установлено, что практически все почвы, включая интразональные, существенно отличаются от расположенных на тех же широтах почв европейской части России и западной Сибири по мощности профиля, морфологии, свойствам, плодородию.

В докладе приводится распространение основных типов почв по природно-климатическим зонам региона. Совместно с учеными-почвоведомы Института географии СО РАН и Института географии АН Монголии, используя единый методологический и классификационный подход, составлены почвенные карты бассейна оз. Байкал [1] и ряд других карт. Логическим завершением почвенных эколого-географических работ явилось создание карты «Почвенно-экологическое районирование бассейна оз. Байкал», включая его монгольскую часть (55 % территории) [2]. Выделено 9 почвенно-экологических провинций и 28 округов.

Из-за особенностей природно-климатических условий и резко возросшей антропогенной деятельности на изученной территории наблюдаются процессы опустынивания ландшафтов и деградации экосистем [3]. Этим негативным экологическим процессам подвержены разнообразные природные компоненты: почвы, растительность, поверхностные и грунтовые воды, атмосферный воздух. Все они по-разному реагируют на внешние возмущающие воздействия (процессы деградации). В результате анализа различных ответных реакций выделены типы деструктивных процессов в экосистемах Байкальского региона и прилегающих к нему территорий.

Почвенно-земельные ресурсы региона являются очень уязвимыми из-за слабой способности сопротивляться антропогенному воздействию за счет внутренних резервов толерантности. Общей отличительной чертой почв является их маломощность и легкий гранулометрический состав (около 80 % земель сельскохозяйственных угодий имеют легкий гранулометрический состав), а также практическое отсутствие водопрочной структуры, слабая противозерозионная устойчивость, низкое плодородие из-за малого содержания гумуса и азота, низкая буферная способность. Кроме этого, им свойственны и другие негативные с точки зрения сельскохозяйственного использования свойства. Анализ качественного состава почв аграрных угодий Бурятии показывает, что 16% пахотных, треть (33%) сенокосных и половина (49%) пастбищных угодий в той или иной степени каменисты, избыточно увлажнены, заболочены, засолены.

За последние полвека из-за неправильного научно и нормативно нерегулируемого использования сельскохозяйственных земель происходят снижение биоразнообразия и продуктивности естественных и агроэкосистем и общая деградация почвенного покрова. Установлено, что только на территории Республика Бурятия более 60% пашни и почти половина лугопастбищных угодий подвержены дефляции и водной эрозии; на большей части пастбищ происходит дигрессия растительности; около трети мелиорированных земель находится в неудовлетворительном состоянии. Определены процессы и основные причины, вызывающие данные негативные процессы. Для возможностей анализа, оценки и управления рисками процессов опустынивания, охраны и рационального использования агроэкосистем в докладе рассматривается комплекс необходимых мероприятий. Их основой явились разработанные нами эколого-агрохимические технологии сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почв за счет комплексных удобрений нового поколения из местного органического и минерального сырья.

Выполнение предложенных мероприятий и технологий по охране и рациональному использованию почвенного покрова, управлению его плодородием будет являться важнейшей частью Программы борьбы с деградацией почв, опустыниванием ландшафтов и станет основой устойчивого развития исследованного региона.

В докладе будут представлены перспективы дальнейших исследований почв и почвенного покрова Байкальского региона и прилегающих территорий Центральной Азии.

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (№ госрегистрации 121030100228-4).

Литература

1. Белозерцева И.А., Убугунов Л.Л., Бадмаев Н.Б., Убугунов В.Л., Доржготов Д., Батхишиг О., Убугунова В.И., Гынинова А.Б., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.Н., Цыбикдоржиев Ц.-Д.Ц., Сороковой А.А. Карта "Почвы бассейна озера Байкал". Масштаб 1:2 500 000. Иркутск: ИГ СО РАН, 2015. https://elibrary.ru/download/elibrary_24268326_86682870.jpg
2. Убугунов Л.Л., Белозерцева И.А., Убугунова В.И., Сороковой А.А. Экологическое районирование почв бассейна озера Байкал // Сибирский экологический журнал. 2019. №6. С. 640–653.
3. Убугунов Л.Л., Куликов А.И., Убугунов В.Л. Разнообразие, риски деградации и эколого-агрохимические технологии управления плодородием почв Внутренней Азии // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. №2. С. 3–9.
4. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Белозерцева И.А., Гынинова А.Б., Сороковой А.А., Убугунов В.Л. Почвы бассейна оз. Байкал: итоги исследований за 1980-2017 гг. // География и природные ресурсы. 2018. №2(7). С. 7–26.

УДК 631.4(571.55)

ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ ПРИБРЕЖНЫХ ДЕПРЕССИЙ ЦИКЛИЧЕСКИ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ОЗЕР В СТАДИЮ РЕГРЕССИВНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ФАЗЫ: ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИХ СОСТОЯНИЯ

Убугунов Л.Л., Убугунова В.И.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670037 Россия; *e-mail: l-ulze@mail.ru*

В юго-восточном Забайкалье (Даурии) и пограничных с ним регионах Монголии (северная часть Восточно-Монгольской равнины) и Внутренней Монголии Китая проблема аридизации климата и последующего опустынивания ландшафтов усиливается еще и регионально происходящими циклическими (примерно 25-30-летними) трансгрессивными (относительно гумидными) и регрессивными (аридными) климатическими фазами. На данной обширной территории располагаются многочисленные бессточные засоленные озера неоднородного химического состава и разной степени минерализации. Исходно неглубокие и маловодные даже в гумидные периоды они существенно обезвоживаются в аридную фазу, иногда вплоть до полного усыхания. Естественно, что все происходящие климатические изменения, в том числе негативные, наглядно отражаются на гидрологии и химическом составе этих водоемов и на ландшафтах приозерных понижений, в том числе на почвенном покрове.

Сами озера и их прибрежные территории имеют большую экологическую и кормовую значимость, так как являются местом формирования и функционирования специфичного разнообразия мелких млекопитающих и почвенных беспозвоночных, водорослей, локализации и гнездования многочисленных местных и перелетных птиц [2, 3 и др.], а также специфичных микробных сообществ [1, 4]. Исследований по почвенному покрову прибрежных ландшафтов этих озер проведено крайне мало, а по почвам приозерных территорий водоемов с хлоридным засолением каких-либо значимых данных в литературе не было обнаружено.

Цель исследований – определить основные свойства ландшафтно-доминирующих типов почв прибрежных замкнутых депрессий пульсирующих хлоридных озер Улдза-Торейского бессточного бассейна в стадию выраженной регрессивной климатической фазы и провести эколого-геохимическую и агрохимическую оценку ситуации на основе макро- и микроэлементного состава данных почв.

Объект исследований – почвы прибрежных депрессий высокоминерализованного хлоридного озера Бабье (N50.296291, E116.379090). Были отобраны 3 ключевых участка со следующими ландшафтно-доминирующими в приозерном понижении типами почв: на супераквально-субаквальных позициях – солончаком квазиглеевым; на супераквальных – гумусово-квазиглеевой засоленной почве; на элювиально-супераквальных – светлогумусовой засоленной почве. Установлено, что изученные почвы характеризуются дифференцированным гранулометрическим составом, неблагоприятными физико-химическими, мелиоративными и агрохимическими свойствами. Химизм засоления по катионам натриевый, по анионам в солончаке квазиглеевом и верхнем горизонте гумусово-квазиглеевой почвы – хлоридный, а в остальных почвах – содово-хлоридный и хлоридно-содовый. Резко выраженное засоление с очень высоким содержанием токсичных ионов натрия и хлора выявлено в поверхностном (солончаковом) горизонте солончака квазиглеевого. Также в данном слое концентрируются многие химические элементы – As, Sr, Li и др.

В докладе будут приведены результаты исследований по определению физико-химических, химических и гидромелиоративных свойств исследованных почв. Представлены содержание и распределение биофильных макро- и микроэлементов в почвах и их сравнительная характеристика с кларками в земной коре, «среднепочвенными» значениями, а также с курским черноземом (эталонном природного почвенного плодородия) и забайкальской каштановой почвой, как зональной автоморфной почвой.

Проведенное изучение эколого-геохимической ситуации по содержанию биогенных элементов и агрохимического состояния почв прибрежных понижений высокоминерализованных хлоридных озер (на примере оз. Бабье) юго-восточного Забайкалья (Даурии) свидетельствует об их малой пригодности для аграрного использования. Рекомендуем, учитывая их ландшафтно-природную значимость для сохранения разнообразия озерных и приозерных экосистем, а также лечебную ценность соленых вод и непосредственно иловых грязей, полное выведение этих почв из сельскохозяйственного оборота и включение в состав особо охраняемых природных и лечебно-бальнеологических территорий.

Выражаем надежду, что особую перспективность будут иметь дальнейшие исследования по изучению многообразия процессов почвообразования, почвенно-агрохимических свойств, эколого-геохимической ситуации и продукционного потенциала хоть и дисперсно, но широко распространенных в Улдза-Торейском бессточном Центральноазиатском бассейне приозерных почв хлоридного и других распространенных типов засоления, являющихся в настоящее время крайне слабо изученными.

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (№ госрегистрации 121030100228-4).

Литература

1. Абидуева Е.Ю., Сыренжапова А.С., Намсараев Б.Б. Функционирование микробных сообществ в содово-соленых озерах Онон-Керуленской группы ((Забайкалье и Северо-Восточная Монголия // Сибирский экологический журнал. 2006. Т. 13, № 6. С. 707-716.
2. Горошко О.А. Влияние многолетних климатических циклов на орнитокомплексы Даурии // эволюция биогеохимических систем (факторы, процессы, закономерности) и проблемы природопользования. Чита, 2011. С. 140-143.
3. Убугунова В.И., Убугунов Л.Л., Сыренжапова А.С., Абидуева Е.Ю., Аюшина Т.А., Жамбалова А.Д., Ткачук Т.Е. Почвенно-растительный покров и микробиоморфная оценка экосистем прибрежных понижений высокоминерализованных бессточных пульсирующих озер Даурии (Юго-Восточное Забайкалье) // Сибирский экологический журнал. 2024, № 1. С. 74-91.
4. Namsaraev Z.B., Gorlenko V.M., Zaitseva S.V., Kozyreva L.P., Namsaraev B.B. Microbial processes and factors controlling their activities in alkaline lakes of the Mongolian plateau // Chin. J. Oceanol. and Limnol. 2015. Vol. 33, № 6. P. 1391-1401.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ И ЭКОСИСТЕМАХ

ОЦЕНКА АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТЕМНО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ В ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аскарова Д.А., Глебов В.В.

Российский университет дружбы народов имени П. Лумумбы,
Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, e-mail: vg44@mail.ru

На высокоурбанизированных территориях современных городов почвы подвергаются мощному антропогенному воздействию, которое связано с перманентным поступлением токсических веществ, включающие тяжёлые металлы (ТМ) [2]. Концентрация промышленных производств, оказывающее значимое воздействие на окружающую среду Восточно-Казахстанской области является одним из высоких на территории современного Казахстан [6]. В этой связи важным аспектом в создании эффективных методов контроля качества окружающей среды становится проведение экологического мониторинга, определяющие концентрации ТМ в почвах вблизи техногенных источников (промышленно-транспортные объекты и добывающе-перерабатывающие предприятия). Такие подходы дают объективную оценку уровня загрязнения почв ТМ при фоновом учёте содержания поллютантов в почвенном слое на незагрязнённых участках [1,2].

Объекты и методы исследования. Объектом исследования стали тёмно-каштановые почвы, загрязнённые пылью выбросов металлургического комбината «Казцинк» в Усть-Каменогорске. Оценка почв на исследуемых территориях проводили согласно инструкциям ГОСТА (ГОСТ 5681-84; ГОСТ 28168-89; Yashin, 2015). Реакция почв (буферность) к ТМ и комплексную оценку проводили по апробированной и хорошо зарекомендовавшей себя методике В.Б. Ильиным (2002).

Полученные результаты и их обсуждение. Проведённые нами исследования показали превышения концентраций ТМ в пылевых выбросах свинцово-цинкового комбината (табл. 1)

Согласно общему Приказу Министерства здравоохранения и Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан за № 602 от 28 декабря 2004 года, общая концентрация ТМ в искусственно загрязнённой почве в указанных дозах составляет от 2,8-71,0 ПДК_{Cu} (33 мг/кг), 4,06-381,93 ПДК_{Zn} (23,0 мг/кг), 1,27-95,98 ПДК_{Pb} (32 мг/кг), 96,0-13742,0 ПДК_{Cd} (0,5 мг/кг).

Анализ валового содержания ТМ свинцово – цинкового комбината «Казцинк» показал, что превышение по загрязнению при сравнении с нормативными показателями ПДК Казахстана составило (%): Cu – 47 173, Zn – 253 508, Pb – 63 806, Cd – 9 399 900.

По валовому содержанию в пылевых выбросах свинцово-цинкового комбината «Казцинк» исследуемые ТМ образовали следующий убывающий ряд: Zn > Cd > Pb > Cu.

Таблица 1. Валовое содержание ТМ в пылевых выбросах свинцово-цинкового комбината «Казцинк»

Элемент	Валовое содержание свинцово – цинковый комбинат, мг/кг	ПДК по Клоке	ПДК Казахстана (Приказ Министерства здравоохранения и Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан за № 602 от 28 декабря 2004 года)
Cu	15600±0,5	100	33
Zn	58330±0,7	300	23
Pb	20450±0,6	32,0	32
Cd	47000±0,8	3,00	0,5

Анализ экотоксикологического исследования по полиметаллическому загрязнению исследуемых почв показал, что при загрязнении почв *оксидами меди* вследствие его медленного растворения происходит прочное закрепление в почвенном слое [2,3].

Цинк показал высокую адсорбцию и аккумуляцию в поверхностных горизонтах темно-каштановой почвы [4], на которую оказывали большое влияние содержание суглинистых минералов и уровень кислотности (рН), что согласуется с рядом исследований [4,5].

Сравнительный анализ *свинца* по отношению к Cu, Zn и Cd показал его меньшую подвижность и при повышении рН в темно-каштановой почве свинец закреплялся в форме фосфатов и карбонатов [4,5].

Заключение. На основании проведенного нами исследования можно сделать следующие выводы:

1. В исследуемых почвах, загрязнённых пылевыми выбросами свинцово-металлургического комбината «Казцинк» обнаружено превышение ПДК валовых форм Cu, Zn, Pb, Cd.

2. Минимальная степень подвижности и аккумуляция подвижных форм выявлена у Pb, более высокая у Cu и Zn, средняя – у Cd.

3. По валовому содержанию в пылевых выбросах свинцово-цинкового комбината «Казцинк» исследуемые тяжёлые металлы образовали следующий убывающий ряд: Zn > Cd > Pb > Cu.

Литература

1. Водяницкий, Ю.Н. Тяжёлые металлы и металлоиды в почвах. - М.: ГНУ Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 2008. 164 с.
2. Ильин, В.Б. Тяжёлые металлы в городских почвах // Сибирский экологический журнал. 2002. Т. 9, №3. С. 285-292.
3. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. - М., Мир, 1989. 439 с.
4. Капралова, О.А. Влияние загрязнения тяжёлыми металлами на эколого-биологические свойства почв г. Ростова-на-Дону / О.А. Капралова, С.И. Колесников // Научная мысль Кавказа. 2012. № 1. С. 69-72.
5. Пинский, Д.Л., Васильева, Г.К., Башкин, В.Н., Михедова, Е.Е. Загрязнение почв тяжёлыми металлами и органическими поллютантами: проблемы и пути их решения // В сборнике: Безопасный Север - чистая Арктика. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ред. А.А. Исаев. Сургут, 2023. С. 19-23.
6. Askarova, D.A., Glebov, V.V., Shevtsov, V.V. Environmental monitoring of metallurgical plant emissions in the conditions of the east Kazakhstan region // В сборнике: Fundamental basis of biogeochemical technologies and prospects of their application in nature protection, agriculture and medicine. 2021. С. 471-474.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ

Башкин В.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино,
bashkin@issp.serpukhov.su

Для целей анализа влияния на состояние окружающей среды и обоснования допустимых параметров эмиссии атмосферных поллютантов от точечных и рассеянных источников наибольший практический интерес представляют научно-методические подходы, разрабатываемые в рамках признанной на международном уровне *методологии критических нагрузок*. Базовые положения Методологии критических нагрузок сформулированы в материалах и публикациях, связанных с научным обеспечением международной Конвенции о трансграничном загрязнении воз-

Таблица 1. Различие методических подходов, заложенных в понятие ПДК и КН как биогеохимических стандартов

Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ	Биогеохимические стандарты
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Нормируют содержание ЗВ в отдельных средах (почве, растительности, грунтовых и поверхностных водах) без учета химических связей между компонентами экосистем и специфики миграционных потоков поллютантов; ▪ Разработаны преимущественно для оценки качества с-х почв, водоемов рыбохозяйственного использования, питьевых вод, как правило, на основе лабораторных исследований; ▪ Как правило, не учитывают специфику функционального использования территорий; ▪ Антропоцентричны – в качестве основного реципиента воздействий рассматривается человек; ▪ Характеризуют степень антропогенных изменений в химическом составе сред, без учета интенсивности предшествующих, существующих или допустимых воздействий; ▪ Не позволяют установить количественные зависимости между воздействием и его последствиями. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Характеризуют максимальное поступление поллютантов в экосистемы с учетом потенциала ее устойчивости в отношении эффектов воздействия конкретных поллютантов; ▪ Учитывают биогеохимические связи между отдельными компонентами экосистем и существующие естественные колебания параметров биогеохимических циклов; ▪ Позволяют оценить допустимый уровень техногенной нагрузки с учетом функционального использования территорий, в том числе, с позиций обеспечения экологической безопасности различных реципиентов (человек, наземная или водная биота, почвенная фауна и микроорганизмы); ▪ Дают представление о соотношении существующего и допустимого воздействия, позволяют регулировать интенсивность воздействий и ориентированы на экономическую целесообразность снижения техногенных нагрузок.

духа на большие расстояния в Европе. В основе данной методологии лежит представление о дифференцированном характере ответных реакций различных экосистем на схожие техногенные воздействия.

Понятие *критическая нагрузка* (или величина КН) соответствует максимальному уровню поступления поллютантов в экосистему, которое не сопровождается необратимыми изменениями в биогеохимических циклах (функционировании биоты, структуре экосистемы и ее продуктивности) в течение длительного периода времени – до 100 лет и более. Таким образом, оценка величин КН предполагает определение порога поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в экосистемы, после превышения которого возможны негативные последствия для живых организмов и экосистемы в целом, тогда как ниже данного уровня нарушений и неблагоприятных эффектов не наблюдается. В отличие от традиционных для России и большинства других стран «средовых» показателей, нормирующих концентрации поллютантов в отдельных средах, величина КН является *экосистемным показателем или биогеохимическим стандартом*. Основные различия между этими нормативами отражены в табл. 1.

Количественные методы расчета величин КН как биогеохимических стандартов основаны на использовании простых биогеохимических моделей масс-баланса элементов. При оценке критических нагрузок могут быть учтены те или иные природоохранные приоритеты, определяемые через выбор реципиентов (сохранение конкретных природных объектов) и установление соответствующих биогеохимических индикаторов. В настоящее время при расчетах КН наиболее широко используются эффект-ориентированные биогеохимические модели, которые базируются (1) на представлении об относительном биогеохимическом равновесии, существующем между различными компонентами экосистем при стабильных внешних условиях, а также (2) на учете конкретных экологических последствий – эффектов от техногенных воздействий. Это позволяет рассчитать допустимый уровень поступления поллютантов, соответствующий критической концентрации ЗВ в одной из рассматриваемых сред, и выполнить условие со-

хранения качества тех сред, которые определены как экологически приоритетные для данных условий. Нормирование техногенных нагрузок на основе подобных моделей проводится для экологических ситуаций, когда уровень загрязнения отдельных компонентов экосистем ниже установленных критических стандартов, и с экономической точки зрения обосновано более интенсивное использование территорий, которое, однако, не должно привести к загрязнению компонентов окружающей среды выше установленных нормативов. Для условий, когда существующий уровень загрязнения окружающей среды выше установленных нормативных показателей, для оценки допустимой интенсивности воздействия при дальнейшем использовании данных территорий и(или) определения параметров необходимого снижения антропогенных нагрузок используют динамические модели.

Эти биогеохимические стандарты (КН) применяются для оценки экологических рисков. Характеристика риска включает в себя расчет *вероятности превышений КН* (или вероятности превышений допустимых уровней воздействия), что может быть выражено следующей формулой:

$$Risk(X) = P(Ex(KH) > 0) = P([X]_{dep} - KH(X) > 0),$$

где $Risk(X)$ – экологический риск для экосистем, связанный с воздействием конкретного поллютанта (X); $KH(X)$ – допустимый уровень поступления этого поллютанта в экосистему; $[X]_{dep}$ – существующий или прогнозируемый уровень поступления поллютанта в экосистему с атмосферными выпадениями; $Ex(KH)$ – превышение допустимого уровня поступления (KH); $P(Ex(KH))$ – вероятность превышений допустимого уровня (KH).

Биогеохимические стандарты используются при разработке биогеохимических технологий в качестве технологических параметров, что актуально, в частности, при проведении рекультивационных и ремедиационных работ, и оценке вероятности риска.

РЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

Васильева Г.К.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт Физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино, gkvasilyeva@rambler.ru

Важной задачей экологии в современных условиях является разработка экологических методов защиты окружающей среды от антропогенного воздействия. К основным источникам химического загрязнения в РФ относятся места добычи, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов. По данным Статистического бюллетеня РФ, в период с 2020-2022 гг. вследствие утечек при транзите нефти, газа и продуктов переработки нефти ежегодно образовывалось от 124 до 132 тыс. га загрязнённых земель [3].

Попадая в почву из-за случайной утечки, нефть оказывает сильное негативное воздействие на свойства почвы и почвенную биоту. Наиболее распространенные воздействия нефти включают нагревание, гипоксию, окислительный и осмотический стресс, что приводит к изменению состава почвенных микроорганизмов, угнетает рост растений, а также губительно действует на почвенных беспозвоночных. Сумма этих экологических дисбалансов прямо или косвенно приводит к ущербу для здоровья человека, поскольку нефтяное загрязнение обладает высокой токсичностью, канцерогенным, мутагенным и тератогенным потенциалом [7].

В настоящее время существует обширная практика рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Разработанные методы подразделяются на небиологические и биологические, которые применяются либо на спец-полигонах, либо непосредственно на загрязненном участке.

К *небиологическим методам* рекультивации *ex situ* относятся: экскавирование грунта и захоронение на специальном полигоне; фракционирование; экстракция водными растворами или органическими растворителями; ультразвуковая и термическая обработка загрязненных почв. Небиологические методы *in situ* включают: создание физических барьеров; использование сор-

бентов для сбора нефти с поверхности почвы; промывку грунта; вентиляцию; электрохимическую обработку. В настоящее время в большинстве случаев используют небиологические методы очистки, т.к. они быстры и радикальны, однако они дороги, энергозатратны и нарушают почвенный ландшафт.

Биоремедиация нефтезагрязненных почв, напротив, является наиболее перспективным подходом, поскольку она основана на способности почвенных микроорганизмов полностью разлагать нефтяные углеводороды и/или превращать их в нетоксичные продукты. Углеводород-окисляющие микроорганизмы (в основном бактерии, реже актино- и микромицеты), широко распространены в окружающей среде, поэтому процесс самоочищения происходит в любых почвах. Однако скорость этого процесса обычно очень медленная и сильно зависит от характера и уровня загрязнения, почвенно-климатических условий, а также от наличия в почвах биофильных элементов.

Одним из широко используемых подходов биоремедиации является **биостимуляция**, которая основана на создании оптимальных условий для активации в почве нативных нефтеокисляющих микроорганизмов. Этот метод применяют преимущественно в условиях ландшафтинга (обработка на месте) или путем компостирования в буртах. При этом в почву вносятся оптимальные дозы минеральных или органических удобрений, проводится известкование для снижения избыточной кислотности и создаются оптимальные аэрогидротермические условия.

В некоторых случаях скорость биоремедиации почвы можно увеличить путем **биоаугментации**. Для этих целей разработаны многочисленные биопрепараты, в основе которых лежат экзогенные углеводород-окисляющие микроорганизмы, как в виде свободных, так и иммобилизованных клеток. Для повышения биодоступности малодоступных нефтяных фракций могут использоваться поверхностно-активные вещества. Однако применение этого метода рекомендуется только для почв с исходной концентрации углеводородов нефти не более 5%.

В последние годы разрабатывается метод сорбционной биоремедиации, способный ускорить процесс деградации нефти в умеренно и сильно загрязненных почвах. Он основан на дополнительном внесении природных сорбентов, которые снижают токсичность почвы за счет преимущественно обратимой сорбции нефтяных углеводородов и улучшают свойства почвы для поддержания оптимальной полевой влажности и снабжения кислородом микроорганизмов-деструкторов. Этот метод может быть применен *in situ* из-за минимального риска выщелачивания токсичных соединений в грунтовые воды. Доказана эколого-экономическая эффективность метода для загрязненных почв на уровне до 15% сырой нефти или нефтепродуктов. В результате наших многолетних исследований (совместно с сотрудниками ИБФМ РАН, ИПЭС РАН, РУДН, РГУ Нефти и Газа им. И.М. Губкина и ЮФУ) была разработана инновационная технология сорбционно-биологической очистки почв, умеренно и сильно загрязненных нефтью и нефтепродуктами, находящихся в разных почвенно-климатических условиях. Этот метод показал свою высокую эффективность как для почв русской равнины (серая лесная, аллювиально-луговая и чернозем) [4, 6], так и для минеральных почв нефтедобывающего региона в Северо-Западной Сибири [1]. Кроме того, доказана эффективность данного метода для рекультивации почв Кольского полуострова, исторически загрязненных дизельным топливом и отработанным моторным маслом [5]. В некоторых случаях вместо сорбентов в нефтезагрязненную почву вносят растительные остатки (солома, рисовая шелуха, гидролизат листьев тропических растений [2]), а вместо биопрепаратов используют органические отходы: навоз или компост. Описание всех подходов ремедиации почв, загрязненных нефтяной промышленностью, и примеры их применения приведены в Главе, опубликованной нами в «Справочнике технологий очистки окружающей среды» [7].

Таким образом, выбор рекультивации нефтезагрязненных почв определяется многими факторами, важнейшими из которых являются характер и уровень загрязнения земель, нормативные требования к качеству рекультивируемого грунта, почвенно-климатические условия, а также стоимость обработки.

Литература

1. Михедова Е.Е. и др. Использование биотестирования для оценки сорбционной биоремедиации нефтезагрязненной подзолистой почвы Западной Сибири // Природные ресурсы Арктики и Субарктики, 2023, 28(4): 595-605.

- Херрера Л., Васильева Г.К. Применение технологии биоремедиации на основе биопрепарата «Биол» для рекультивации нефтезагрязненных почв и нефтешламов с целью снижения рисков загрязнения окружающей среды в бассейне реки Амазонки // Проблемы анализа риска. 2014, 5: 18-25.
- Основные показатели охраны окружающей среды. Статистический бюллетень. // [Электронный ресурс]. Федеральная служба государственной статистики, М., 2023.
- Kondrashina V.S. et al. Influence of activated carbon and other additives on bioremediation rate and characteristics of petroleum-contaminated soils//Soil Science.2018,183(4):150-158.
- Myazin V.A. et al. The effectiveness of biostimulation, bioaugmentation and sorption-biological treatment of soil contaminated with petroleum products in the Russian Subarctic // Microorganisms. 2021, 9, № 1722.
- Vasilyeva G.K. et al. Use of natural sorbents for accelerated bioremediation of grey forest soil contaminated with crude oil // Sci. Total Environ. 2022, 850, №157952.
- Vasilyeva G.K. et al. Remediation of soils polluted by oil industries. (P. 191-239). Chapter *In*: J-J Ortega-Calvo and F. Coulon (eds.) "Soil Remediation, Science and Technology". Hdb Env Chem, Springer-Nature, 2024. – 437 p. DOI 10.1007/698_2024_1080.

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВЫ ПОСЛЕ ЗАХОРОНЕНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗННОГО СЛОЯ

Гаршин М.В.

Уфимский Институт биологии - обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН,
450054, г. Уфа, проспект Октября, д. 69, garshin.mixail@yandex.ru

Загрязнение нефтью привлекает значительное внимание из-за его катастрофического воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Процессы бурения, добычи, транспортировки и хранения нефти, а также случаи разливов нефтепродуктов приводят к образованию огромного количества загрязняющих веществ из нефтепродуктов. Это загрязнение рассеивается в воде и в конечном итоге накапливается в донных отложениях и почве, приводя к серьезным экологическим последствиям для экосистем. Хорошо известно, что загрязнители нефти, такие как полициклические ароматические углеводороды и бензол, являются высокотоксичными и канцерогенными. Полициклические ароматические углеводороды, например, оказывают канцерогенное воздействие на людей и животных. Более того, нефтяные загрязнители также могут нанести вред экологической среде почвы, вызывая утрату микробного биоразнообразия и гибель растений и почвенных животных [1].

Учитывая растущие уровни загрязняющих веществ нефтью и их пагубное воздействие на экологическую среду, изучение нефтезагрязненных почв становятся все более необходимыми. Традиционные меры по восстановлению почвы находятся в стадии разработки, и большинство из этих технологий по-прежнему страдают от проблем, связанных с затратами энергии и времени, экономической неэффективностью или экологической безопасностью. Например, удаление загрязненных почв или замена их аналогичными новыми почвами не всегда проходит по разработанной технологии и случается, что загрязненные почвы вместо рекультивации закапываются почвой, предназначенной для замены[3].

Нами был исследован участок погребенного нефтезагрязненного почвенного слоя. По архивным данным исследуемый участок был подвержен нефтяному загрязнению в 1970 году, и при ликвидации разлива были грубо нарушены технологии рекультивации. Загрязненный слой почвы засыпали незагрязненной почвой с близлежащих участков. Исследуемый участок находится в 300 м севернее от н.п. Павловка, Бижбулякского района, Республика Башкортостан. Почвы представлены черноземом типичным. Было заложено два почвенных разреза. Один на месте давнего разлива, другой в 200 м севернее как фоновый. Был произведен отбор проб на загрязнение нефтепродуктами и некоторые агрохимические показатели. Почвенный покров представлен типичным черноземом (рис. 1).

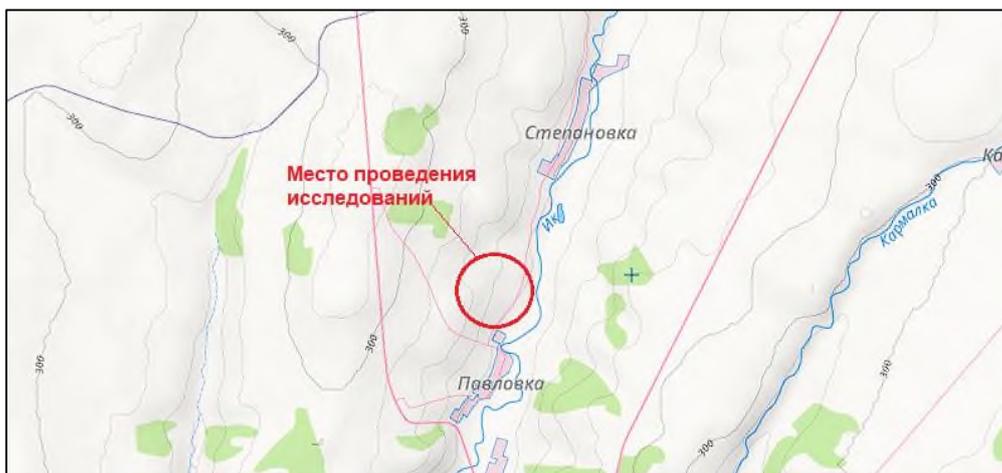


Рис. 1. Место проведения исследований.

В ходе проведенных исследований выявлены погребенные нефтезагрязненные почвенные слои (рис. 2). Горизонты А1 и АБ на загрязненном участке содержали от 250 до 260 мг/кг нефтепродуктов, при этом горизонт Ап не был загрязнен. Так же данные горизонты выделяются по сравнению с фоновыми пробами. Произошло значительное повышение содержание органического вещества, а так же возрастает величина рН и сумма поглощенных оснований.

Общее содержание органического углерода, а так же компонентов нефти, могут служить показателем и индикатором нефтяного загрязнения при почвенно-агрохимических мониторинговых обследованиях [2,3].

Стоит отметить, что на загрязненном участке горизонт Ап в значительной степени не отличается от фоновой пробы. Это подтверждает архивные данные о том, что загрязненный слой почвы засыпали незагрязненной почвой с близлежащих участков. Из-за данного факта не было заметных следов загрязнения и угнетения растений.

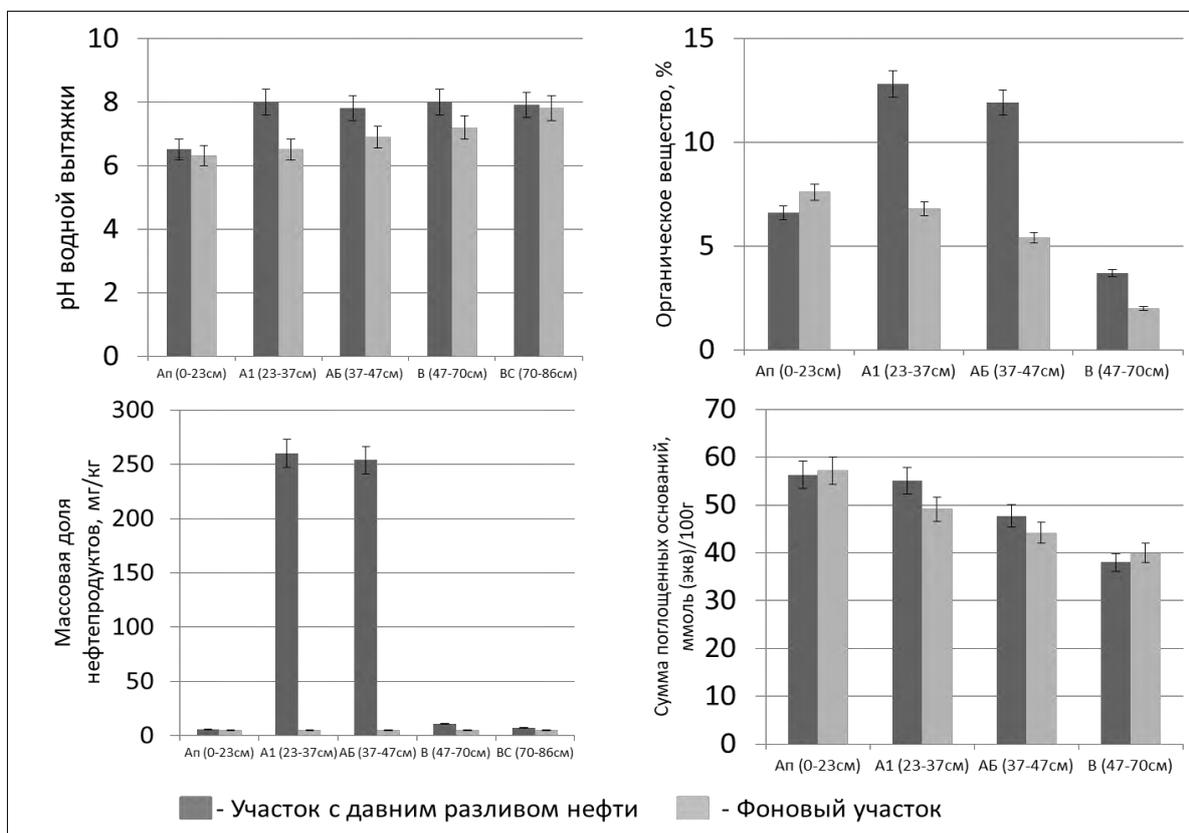


Рис. 2. Распределение некоторых показателей в почвенных разрезах.

Литература

1. Арсланов Ш.С., Абдурахмонов С.Т. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами // Сборник статей: Булатовские чтения. 2021. Т. 1. С. 287–288.
2. Сулейманов Р.Р., Назырова Ф.И., Габбасова И.М. Изменение физико-химических свойств чернозема типичного в условиях загрязнения нефтепромысловыми сточными водами и рекультивации // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008. № 9. С. 167–173.
3. Туров Ю.П., Гузьяева М.Ю., Лазарев Д.А., Петрова Ю.Ю., Стом Д.И. Оценка уровня загрязнения и эффективности технологий реабилитации почвы при разливах сырой нефти // Экология и промышленность России. 2023. № 7. С. 36–42.
4. Шаркова С. Ю. Изменение химических характеристик почвы под действием нефтезагрязнения // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 610–613.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИТРАТНЫХ И СУЛЬФАТНЫХ ФОРМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

Дударова Д.Г., Азнаева М.Р., Нагоева М.З., Таов Р.Х.
Научный руководитель – Занилов А.Х.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
Нальчик, ул. Чернышевского, 173; dudarova.dinara00@mail.ru

Актуальность. Микроэлементы играют важную роль в функционировании агроэкосистем. Они участвуют в ряде окислительно-восстановительных процессов у растений и оказывают влияние на синтез углеводов, белков, нуклеиновых и других органических кислот [1]. Для микроорганизмов они являются необходимыми биологически активными элементами, участвующими в сложных биологических и физиологических процессах [2]. Различные формы микроэлементов, в свою очередь, по-разному влияют на биохимические процессы в почве, в связи с чем для прогнозируемого управления биологической активностью почвы требуется достаточное количество экспериментальных данных.

Для решения этой проблемы был проведен модельный эксперимент по изучению микробиологического отклика почвенной микрофлоры на внесение цитратных и сульфатных форм микроэлементов (Zn, Mn, Cu, Fe) как возможного способа регулирования биологической активности почвы.

Объекты и методы исследования. В модельном опыте цитратные и сульфатные формы микроэлементов вносились исходя из расчета 0,05 г по элементарной массе на 450 г почвы. Биологические свойства почвы определяли по показателям субстрат индуцированного дыхания и углерода микробной биомассы. Оценка действия различных форм микроэлементов проводилась в трех временных точках на 4, 11 и 17 день после внесения. В качестве микроудобрений использовали цитратные и сульфатные формы Fe, Mn, Zn, Cu.

Результаты и обсуждение. За период инкубации в почвенных образцах без добавления микроэлементов наблюдалось снижение всех показателей биологической активности, тогда как в почвах с микроэлементами наблюдалось их увеличение. По полученным данным видно, что влияние формы микроэлементов на биоактивность почвы зависит от вида микроэлемента. Так цитратные формы Mn, Zn, Cu на старте способствуют сохранению дыхания почвы на уровне контроля и демонстрируют снижение в динамике, повторяя тренд контрольного варианта. Сульфатные формы этих же микроэлементов, наоборот – с течением времени повышают биоактивность почвы более, чем в 2 раза (табл. 1).

Исключением является действие железа, ионы которого входят в состав ферментных систем дыхательной цепи бактерий [6]. СИД под действием цитратной формы железа возрастала в динамике по отношению к контролю на 216,7%, а в сульфатной снижалась на 33,3%. Изменение содержания углерода микробной биомассы под действием различных форм микроэлементов демонстрировало аналогичный тренд. Максимальное влияние на его рост оказала цитратная форма железа к концу наблюдения. Превышение по отношению к контролю составило 416,5%.

Таблица 1. Зависимость микробной активности почв от форм микроэлементов

Микроэлементы		4 день		11 день		17 день	
		СИД	Смик (г/м ²)	СИД	Смик (г/м ²)	СИД	Смик (г/м ²)
Fe	сульфат	33	170,91	52,25	270,56	77	398,67
	цитрат	66	341,73	71,5	370,20	137,5	711,85
Mn	сульфат	55	284,79	79,75	412,91	115,5	597,97
	цитрат	82,5	427,14	82,5	427,14	55	284,79
Zn	сульфат	22	113,97	41,25	213,61	55	284,79
	цитрат	60,5	313,26	49,5	256,32	49,5	256,32
Cu	сульфат	71,5	370,20	27,5	142,44	68,75	355,97
	цитрат	71,5	370,20	55	284,79	55	284,79
	контроль	82,5	427,14	55	284,79	33	170,91

Выводы. Подбором форм микроэлементов, используемых в качестве удобрений можно влиять на направленность биопроцессов в почве, в частности, цитратными формами железа возможно повышение уровня биологической активности почвы более, чем в 2 раза. Продолжение исследований в данной области имеет перспективы для модификации традиционных систем удобрения, направленных на поддержание и восстановление почвенного плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

Работа выполнена в рамках программы «Приоритет 2030».

Литература

1. Тютюма Н.В. Роль микроэлементов в стимулировании роста и развития растений и повышении их устойчивости к неблагоприятным условиям среды. / Н. В. Тютюма // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 8. – С. 129-133. – EDN MSZTKZ.
2. Пищик В.Н., Воробьев Н.И., Проворов Н.А., Хомяков Ю.В. Механизмы адаптации растений и микроорганизмов в растительно-микробных системах к тяжелым металлам // Микробиология. – 2016. – Т. 85, № 3. – С. 231-247. – DOI 10.7868/S0026365616030113. – EDN VVUNMH.
3. Сусский Е.В., Глушенкова Ю.А., Телишевская Л.Я., Ночевный В.Т. Роль и значимость ионов железа в питании и метаболизме микроорганизмов // Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии. Сборник статей по материалам XIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного технологического университета. Кубанский государственный технологический университет; Армавирский механико-технологический институт; Краснодарское региональное отделение «Союз машиностроителей России». 2018. С. 273-278.

О МЕХАНИЗМАХ СОРБЦИИ Cu ПОЧВАМИ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ И ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ

Иовчева А.Д.¹, Пинский Д.Л.¹, Семенов И.Н.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пушино, y_nastia@mail.ru, pinsky43@mail.ru

²МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва; semenkov@geogr.msu.ru

Устойчивость почв к загрязнению ТМ, в том числе Cu, определяется, во-многом, их сорбционной способностью. В то же время от формы закрепления Cu в почве зависит ее биодоступность для растений. В свою очередь способность к сорбции и набор соединений Cu, которые образуются в результате поступления металла в почвы, определяются основными почвенными

свойствами (состав и содержание органического вещества – $C_{орг}$, pH, степень и тип засоления и прочие). Цель данной работы – выявить механизмы сорбции и формы иммобилизации Cu в гумусовых горизонтах некоторых типов почв лесостепной зоны Барабы. Объекты исследования – гумусовые горизонты чернозема квазиглееватого (AU), солонца темного квазиглеевого (SEL), гумусово-квазиглеевой солончаковой почвы (HAU_s), которые сформировались в пределах одной приозерной геохимической катены. В горизонтах AU и SEL $C_{орг} = 3-3,5 \%$, в горизонте HAU_s – $5,1 \%$. Образцы имеют тяжелосуглинистый гранулометрический состав. pH горизонта AU чернозема – нейтральный, SEL и HAU_s – слабощелочной. Горизонты AU и SEL – не засолены. HAU_s солончаковой характеризуется хлоридно-сульфатно-натриевым химизмом засоления и суммой токсичных солей $S_{токс} > 0,1\%$.

Эксперименты по оценке поглотительной способности почв проводились методом серий растворов. К навескам в соотношении почва:раствор — 1 : 10 приливали растворы ацетата меди с концентрацией от 2 до 200 мг/л (20 - 2000 мг/кг). 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}). Также в равновесных растворах были измерены pH и содержание вытесненных катионов Ca, Mg, Na, K. Формы Cu в нативных и загрязненных 200 и 2000 мг/кг почвах определяли по модифицированному методу Tessier с соавторами [1]. Модификация заключалась в использовании 1M CH_3COONa pH=8,2 для выделения F1 – обменной фракции, а также в определении содержания Cu во фракции F5 по разности между ее общим содержанием и содержанием во фракциях F1–F4. Содержание Cu, Ca, Mg в почвенных вытяжках и фильтрах определено методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС), Na, K – методом пламенной фотометрии.

Прочность связи катионов Cu с твердой фазой почвы характеризуется величиной угла наклона изотермы адсорбции к оси ординат. Чем меньше угол – тем выше сродство. Таким образом, прочность адсорбции выше для горизонтов HAU_s и AU, чем для SEL (рис. 1). При низких концентрациях Cu_{ads} (≤ 6 ммоль/кг) изотермы почв имеют слабо вогнутую форму, что может объясняться взаимодействием Cu с компонентами комплексообразователями (перешедшими в жидкую фазу в результате сорбционного эксперимента), которые препятствуют адсорбции металла [2]. При увеличении концентрации вносимой Cu растет количество свободных Cu^{2+} , способных к адсорбции, следовательно, форма изотерм становится более выпуклой.

В процессе сорбции Cu исследуемыми почвами происходит изменение pH равновесных растворов. Подщелачивание равновесных растворов чернозема и солонца темного квазиглеевого происходит, вероятно, за счет гидролиза ацетата меди и последующей адсорбции заряженных комплексов $AsOCu^+$, когда в результате в растворе остаются OH^- . Постепенное подкисление растворов объясняется возрастающим вытеснением протонов из ППК и связано с составом и свойствами твердых фаз исследуемых почв.

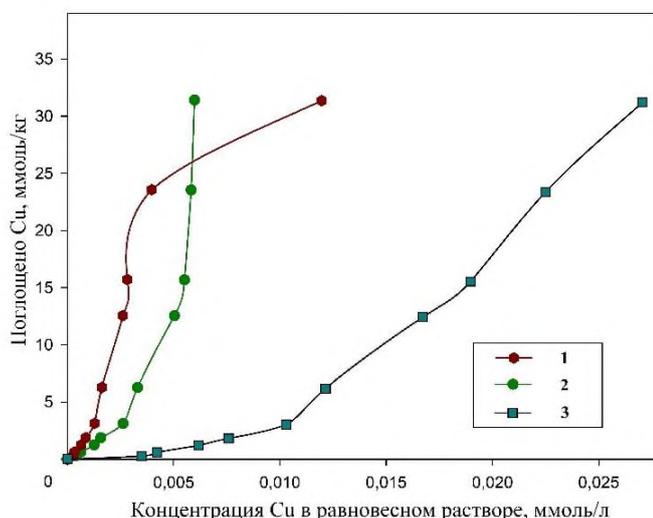


Рис. 1. Изотермы сорбции Cu горизонтами AU (1), HAU_s (2) и SEL (3).

Для горизонта АU чернозема квазиглееватого прослеживается эквивалентность обмена Cu на макрокатионы Ca, Mg, Na и K при концентрации $Cu_{ads} \geq 400$ мг/кг. В НАU_s гумусово-квизглеевой засоленной почвы признаком наличия ионного обмена является эквивалентный количеству Cu_{ads} прирост суммы десорбированных Ca и Mg (относительно более низких стабильных концентраций) при $Cu_{ads} \geq 400$ мг/кг. Количество десорбированных Ca и Mg в равновесных растворах из SEL не превышает количество форм, приходящихся на водную вытяжку. Необходимо уточнение методики определения Ca, Mg в фильтратах методом ААС.

Фракционирование показало, что основная доля Cu в нативных почвах приходится на пул прочносвязанных соединений. В НАU_s и АU также значительная часть Cu находится в составе малорастворимых соединений, связанных с $C_{орг}$, что может объясняться высоким содержанием гумуса и его составом. При уровне загрязнения ≈ 200 мг/кг содержание наиболее подвижных, биодоступных форм (F1, F2) остается невысоким, однако в десятки раз (по сравнению с незагрязненными) вырастает количество Cu, связанной с (гидр)оксидами Fe и Mn (F3), и в сотни – связанной с $C_{орг}$ почвы (F4). При уровне загрязнения Cu ≈ 2000 мг/кг до сотен мг/кг увеличивается содержание F2, что указывает на невозможность исследуемых почв сохранять свои протекторные свойства при данном уровне загрязнения.

Литература

1. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Anal. Chem. 1979. Vol 51. P. 844–851. <https://doi.org/10.1021/ac50043a017>
2. Sposito G. The surface chemistry of soils. N/Y/ Oxford Univ. Press. 1984. 234 p.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ НА ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННЫЕ РАЗЛИЧНЫМИ ДОЗАМИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Калеро Эррера В.К., Березкин В.Ю.

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумба, Институт экологии,
Москва, РФ, Подольское шоссе, 8/5, vkalero@bk.ru

Микроэлементозы человека, связанные с загрязнением окружающей среды, в том числе почв сельскохозяйственного назначения, микроэлементами, как эссенциальными, так и условно токсичными - одна из актуальных проблем нашего времени [1]. Одно из решений существующих проблем - биоремедиация загрязнённых почв.

При этом, гуминовые препараты и другие природные и синтетические сорбенты, предлагаемые к использованию при рекультивации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, в настоящее время недостаточно изучены с точки зрения эффективности восстановления почв при различных уровнях загрязнения [3-4].

Целью настоящей работы было изучение эффективности некоторых ремедиаторов, таких как гипан и сахалинский гумат в почве, загрязненной комплексом нескольких тяжёлых металлов (медь, цинк, свинец, никель). Образцы почв, использованные в эксперименте, были отобраны в окрестностях г. Мончегорск (Кольский полуостров), в рамках экспедиции МГУ им. М.В. Ломоносова (2023 г.). Почвы были отобраны как на условно фоновых территориях (вне зоны воздействия Мончегорского предприятия), так и непосредственно в импактной зоне. Всего было отобрано четыре пробы.

Все исследования биоремедиантов проведены авторами в 2024 г. в лаборатории Почвенного факультета МГУ. Каждую из проб исследовали на содержание тяжёлых металлов (ТМ), как без биоремедиантов, так и с их применением: гипан, мицелий гриба, гипан + сахалинский гумат. Гипан добавляли в виде 1%-ного раствора, бинарный состав (гипан+сахалинский гумат) состоял из 1%-ного раствора гипана и 0,1%-ного раствора сахалинского гумата, соотношение составляло 20 мл на 100 г сухой почвы. Содержание ТМ (меди, цинка и свинца) определялось в лаборатории института ГЕОХИ РАН, методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной

плазмой (АЭС ИСП) [2]. Определялись, как валовые формы указанных элементов, так их подвижные формы в растворе (ацетатно-аммонийном буфере).

Содержание элементов в исследуемых пробах варьировало в широких пределах, достигая максимального значения в импактной зоне, а минимального в пределах фоновой территории: медь 6 - 2329 мкг/г; свинец 2,9 - 19,2 мкг/г; цинк 1,5 - 85,5 мкг/г; никель 24,9 - 4980 мкг/г. Таким образом, исследуемые пробы почв в наибольшей степени были загрязнены медью и никелем.

Подвижные формы исследуемых элементов также варьировали в широких пределах, но пропорционально содержанию валовых форм. Результаты исследования показали, что внесение природных сорбентов различного состава оказывает существенное влияние на поведение подвижных форм исследуемых металлов (медь, цинк, свинец, никель) в почвах. Так, в незагрязнённых почвах (условно фоновых территорий), внесение сорбентов увеличило подвижность некоторых из исследуемых металлов (мицелий - Cu; гипан и сахалинский гумат - Zn).

При этом, в загрязнённых почвах применение гипана гарантировало пусть незначительное, но меньшее содержание подвижных форм свинца, меди, цинка и никеля независимо от величины внесённой дозы, значительно более чем сахалинский гумат и мицелий гриба.

Таким образом, влияние различных доз тяжёлых металлов в почве на развитие растений оказалось ожидаемым: положительный эффект от обработки загрязнённой почвы полимерами наблюдается при всех уровнях нагрузки ТМ. При этом, наибольший эффект ремедиации наблюдался в присутствии гипана и сахалинского гумата.

Работа выполнена в рамках проекта «Мелиорация и охрана почв. Новые подходы с использованием композиционных материалов на основе природных сорбентов». Авторы благодарят проф. В. А. Терехову за предоставление условий для выполнения работы, а также Бикулову А.В., Волкова В.Д. и Сергеева Ю.Д. за сбор образцов.

Литература

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
2. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв / Воробьева Л.А., Москва: ГЕОС, 2006. – 400 с.
3. Terekhova, V. A., Prudnikova, E. V., Kulachkova, S. A., Gorlenko, M. V., Uchanov, P. V., Sushko, S. V., and Ananyeva, N. D. Microbiological indicators of heavy metals and carbon-containing preparations applied to agrosoddy-podzolic soils differing in humus content. *Eurasian Soil Science* 54, 3 (2021), pp. 448–458.
4. Terekhova, V.A., Fedoseeva, E.V., Kiryushina, A.P., Caracciolo, A.B., Verkhovtseva, N.V. (2021) Effect of an Equal Dose of Polymetallic Pollution on the Microbiological Characteristics of Two Soils with Different Organic Carbon Contents// *Water, Air, and Soil Pollution* (2021), 232(7), 292 p.

ИСТОЧНИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ОПИСАНИИ ПОВЕДЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Колупаева В.Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, 143050, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5; amulanya@gmail.com

В современных условиях для того, чтобы эффективно вести сельское хозяйство, предотвратить потери урожая и, в конечном итоге, накормить население земного шара, необходимо использовать средства защиты растений. Это в свою очередь может приводить к попаданию остатков пестицидов в поверхностные и грунтовые воды, их накоплению в почве и сельскохозяйственной продукции.

Для того, чтобы иметь возможность оценить риски от применения пестицидов, широко используются математические модели. Задачей таких моделей является расчет концентраций пестицидов в объектах окружающей среды. Важным этапом работы с такими моделями является

их корректная параметризация. От того насколько точными будут входные параметры модели, зависят результаты расчетов. Для подобных моделей требуются данные о физико-химических свойствах пестицидов, сроки и способ их применения, метеорологические данные, физико-химические свойства почв, включая параметры уравнений, описывающих ОГХ, сведения о возделываемой культуре. В данном сообщении рассмотрены трудности, связанные с получением данных об экологических свойствах действующих веществ пестицидов.

Основные свойства пестицидов, во многом определяющие их судьбу в окружающей среде – это период полураспада (DT_{50}) и константа сорбции (K_d или K_f). Период полураспада определяет скорость трансформации вещества в конкретной почве и рассчитывается по уравнению первого порядка на основании данных о динамике остаточных количеств пестицида в почве. Вопросы возникают уже на стадии планирования эксперимента: в каких почвах проводить изучение, какова должна быть длительность эксперимента, возможно ли использование полевых данных для получения DT_{50} ? Ответы на первые два вопроса можно найти в ГОСТ [2], где указано, что почва для лабораторного эксперимента должны быть “ревитализирована” для того, чтобы активизировать микробную активность. Выбор почв ограничен значениями pH, гранулометрическим составом и содержанием органического вещества. Длительность эксперимента должна быть такова, чтобы на кривой динамики разложения находилось не менее 6-ти экспериментальных точек, что может иметь ограничение по аналитическим возможностям метода определения содержания пестицида в почве. Единообразие в условиях проведения исследований по изучению скорости разложения пестицидов позволяет снизить расхождения в значениях периода полураспада, полученных разными исследователями и в различных лабораториях.

Накопленные экспериментальные данные показывают, что динамика разложения пестицида не всегда следует уравнению первого порядка. Нередко наблюдается снижение скорости разложения пестицида со временем его нахождения в почве. В этом случае динамика разложения пестицидов отличается от кривой первого порядка, а для аппроксимации данных и расчета периода полураспада в этом случае используют биэкспоненциальное уравнение или же уравнение Густавсона и Хольдена [3, 4]. Тем не менее современные модели для описания скорости разложения используют уравнение кинетики первого порядка, следовательно, применение DT_{50} , определенное по экспоненциальной модели приводит к неизбежным ошибкам.

Полевые данные по разложению пестицидов также могут быть использованы для расчета DT_{50} , однако потребуется пересчет скорости деградации на стандартные условия (температура – 20°C, влажность $pF=2$), т.е. процедура нормализации.

Полевые исследования разложения пестицидов имеют преимущество перед лабораторными, поскольку в натуральных условиях имеется возможность исследовать влияние всего комплекса почвенных и погодных факторов на процесс трансформации действующего вещества пестицида. Однако в полевых условиях наблюдается варьирование почвенных свойств, что, в свою очередь приводит к высокой вариабельности концентраций пестицидов в пробах [1]. Это также усложняет интерпретацию полевых данных о динамике разложения токсикантов.

Для моделирования миграции пестицидов и определения их концентраций на определенной глубине, например, на глубине 1 м, требуются сведения о скорости разложения в почвенных слоях вплоть до указанного уровня. Однако, как правило, известно только значение DT_{50} для пахотного горизонта, а для остальных слоев используют поправочные коэффициенты снижения скорости процесса с глубиной. Это также может служить одним из источников ошибок моделирования.

Вторым важным показателем, который обуславливает поведение пестицидов в почве, является сорбция. Сорбцию определяют в замкнутом равновесном эксперименте и описывают константой Фрейндлиха. На использовании этого показателя основаны все классификации и агрегированные индексы подвижности пестицидов [5]. При этом в настоящее время имеются сведения, что сорбция пестицидов увеличивается со временем их пребывания в почве, поскольку часть пестицида подвергается более прочному связыванию в почве. Этот процесс называют неравновесной сорбцией. Для того, чтобы учесть этот процесс, в модели вводятся два дополнительных показателя: константа скорости перехода вещества в неравновесный домен (k_{des}) и kNE – отношение констант Фрейндлиха для неравновесной и равновесной областей. Получение па-

раметров неравновесной сорбции требует проведения дополнительного инкубационно-сорбционного эксперимента и расчетов с помощью специальных моделей, например, PEARLNEQ, поскольку система уравнений для описания процесса сорбции в данном случае не имеет аналитического решения.

Таким образом, для повышения точности прогноза поведения пестицидов в почве и сорбционных средах, требуются совместные усилия специалистов как по физике почв, так и по химии пестицидов, в также получение надежных наборов многолетних данных по миграции пестицидов (например, в лизиметрах) и, параллельно, накопление данных по динамике разложения и неравновесной сорбции пестицидов. Только имея большой объем данных о свойствах пестицидов и их поведении в природе, мы сможем точнее определить источники неопределенности моделирования и преодолеть их.

Литература

1. Горбатов В.С., Колупаева В.Н., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Пространственная вариабельность остаточных количеств хлорсульфурана в дерново-подзолистой почве. Почвоведение. 1993. № 6. С.112-115.
2. ГОСТ 32633-2014. Определение аэробной и анаэробной трансформации в почве. Москва. Стандартинформ. 2019. 19 с.
3. Колупаева В.Н., Горбатов В.С. Некоторые подходы к описанию разложения гербицидов в почве (на примере хлорсульфурана). Агрохимия. 2000. № 8. С.59-64.
4. Колупаева В.Н., Горбатов В.С., Ньюхина И.В. Определение параметров разложения циантранилипрола в дерново-подзолистой почве в лабораторных условиях. Вестник НГАУ. 2016. № 2 (39). С. 82-91.
5. Экологическая оценка пестицидов: методические рекомендации / В. С. Горбатов, Р. С. Аптикаев, А. А. Астайкина и др. М.: МАКС Пресс, 2023. – 144 с.

УДК 632.4 : 571

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ УЧЕТ *Rhizoctonia solani* В РИЗОСФЕРЕ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ И ПОДТАЕЖНОЙ ЗОН ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Корчагина И.А., Шулико Н.Н.

Омский аграрный научный центр, г. Омск; e-mail: korchagina@anc55.ru

В одном грамме почвы обитают миллионы микроорганизмов: грибы, бактерии, актиномицеты и др. Общеизвестно, что рациональное применение удобрений способствует более экономному использованию воды растениями, усиливает их питание и делает почвы наиболее плодородными. В процессе эволюции растения и почва выстроили сложные взаимоотношения, которые могут увеличить продуктивность и качество изучаемой культуры [2].

В свою очередь, почвенный микробиом оказывает существенное влияние на плодородие почв, участвуя в превращении недоступных для растений питательных веществ в усвояемые формы. Почвенная микробиота, а именно направленность вызываемых микроорганизмами процессов, может способствовать росту растений или же угнетать его. Бактерии и грибы участвуют в большинстве биохимических превращений в почвах. Химические редуценты участвуют в преобразовании и минерализации сложных органических соединений (таких как сахара, целлюлоза, фенолы и лигнин) в питательные вещества, доступные для растений. Они также участвуют в гумификации (образовании устойчивых сложных органических молекул, входящих в состав гумуса) и в ряде других важнейших биологических процессов, таких как азотфиксация, метаногенез, нитрификация и аммонификация. В условиях интенсивного земледелия нарушение технологии возделывания культур, нерациональное применение различных средств защиты растений, а также неблагоприятные факторы внешней среды создают условия, способствующие накоплению в почве большого комплекса патогенной микробиоты (виды родов *Fusarium*, *Ophiobolus*,

Gibellina, Rhizoctonia, Phomopsis, Verticillium, Rhizopus, Pythium, Alternaria, Cercospora и др.). Попадающие во время уборки в почву пораженные фитопатогенами растительные остатки являются основными источниками накопления, а затем и заражения растений [3].

Цель данного исследования - изучить почвенную биоту на наличие в ней *Rhizoctonia solani*.

Методика. Исследования проведены на опытных полях Омского АНЦ в южно-лесостепной и подтаежной зонах Западной Сибири (Омская область) в 2023 году. Образцы ризосферы ячменя сорта Омский 101 и овса сорта Сибирский геркулес, послужили материалами для изучения микобиоты почвы. Отбор ризосферы осуществляли в течение вегетации культуры в фазы развития растений: кущение, колошение, налив зерна.

Численность *Rhizoctonia solani* учитывали на агаризованной среде методом почвенных таблеток [4]. В опыте применяли биопрепараты на основе штаммов азотфиксирующих бактерий: Мизорин (*Arthrobacter mysorens*) и Флавобактерин (*Flavobacterium sp. L-30*). Указанные препараты получены во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной микробиологии. Инокуляция семян проведена в день посева, рекомендованными дозами.

Результаты. Ризоктониоз - заболевание растений, вызванного несовершенным грибом *Rhizoctonia solani* Kuehn. Возбудитель размножается в агроэкосистемах ежегодно на овощных, зерновых, тыквенных, капустных и др. группах растений. В зимний период возбудитель сохраняется на растительных остатках в почве в форме склероциев и мицелия. В течение вегетации распространяется воздушно-капельным путём базидиоспорами, а также мицелием в почве [4].

Часть грибов и грибоподобных организмов представлена агрессивными патогенами, способными проникать в ткани активно растущих растений, приводя к снижению урожая и его качества. Эндофитные микроорганизмы присутствуют в тканях бессимптомно и не приводят к каким-либо патологическим изменениям, если рост растений происходит в оптимальных условиях. Кроме паразитов и эндофитов, на зерновых культурах отмечаются многочисленные сапротрофные виды, которые развиваются в тканях ослабленных и отмерших растений. Они часто встречаются на растениях, уже поврежденных другими факторами (биотическими или абиотическими), их доля в микобиоте увеличивается к концу вегетации. Также сапротрофы могут развиваться в процессе хранения зерна и соломы, приводя к их порче [1].

Исследования 2023 года показали, что заселенность почвы *Rhizoctonia solani* выявлена в каждой из изучаемых почвенно-климатических зон. Рассматривая южную лесостепь, отмечено, что при первом отборе почвы численность ризоктонии составила 15,4 пропагул, во второй отбор наблюдается снижение грибной микрофлоры на 3,3 пропагулы (21%) и, наконец, при третьем отборе видно также снижение на 2,6 пропагулы (21%). В начале вегетации растений влаги в почве было достаточно как для прорастания семян, так и для приумножения микобиоты. От кущения до налива зерна произошло уменьшение количества *Rhizoctonia solani* на 5,9 (южная лесостепь) и 5,4 пропагул (подтайга) или на 36-38%.

По результатам определения количественного учета *Rhizoctonia solani* в расчете на 100 г почвы установлено, что заселенность выше порога вредоносности в высокой степени (более 5 пропагул) отмечена на всех изучаемых вариантах опыта. Изучение действия биопрепаратов на численность ризоктонии в ризосфере зерновых культур особых различий не выявила (в пределах ошибки опыта).

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-76-10064, <http://rscf.ru/project/23-76-10064>»

Литература

1. Ассоциированные с пшеницей микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России / Ф. Б. Ганнибал, Т. Ю. Гагкаева, М. М. Гомжина [и др.] // Вестник защиты растений. – 2022. – Т. 105, № 4. – С. 164-180. – DOI 10.31993/2308-6459-2022-105-4-15508.
2. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.

3. Халикова, Л. В. Почвенный микробиоценоз в агросреде как динамичная система: первичные результаты оценки изменений / Л. В. Халикова, Л. М. Кавеленова // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12, № 2. – С. 91-97. – DOI 10.55355/snv2023122114.
4. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Кириченко А.А., Мармулев Е.Ю., Гришин В.М., Казакова О.А., Селюк М.П. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / под ред. профессора Е.Ю. Тороповой. Барнаул, 2017. 210 с.

ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ

Лапушкин М.Ю., Васильева Г.К., Стрижакова Е.Р.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения,
142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, дом 2, корп. 2.
e-mail: makslapushkin@gmail.com, gkvasilyeva@rambler.ru

Химическое загрязнение почв — это существенная угроза продовольственной и экологической безопасности населения. Наибольшую опасность представляет загрязнение почв стойкими органическими соединениями (СОЗ), которые длительно сохраняются в почве. На текущий момент времени в списке СОЗ находится более 30 химических веществ, в том числе полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые до начала 90-х годов прошлого столетия широко использовались в разных отраслях промышленности. Страны, подписавшие Стокгольмскую конвенцию [6], включая Российскую Федерацию, обязались исключить эти соединения из использования и ликвидировать загрязненные участки экологически безопасными методами.

При выборе наиболее эффективной и безопасной технологии рекомендуется применять риск-ориентированный подход (или риск-менеджмент), который предполагает количественную оценку уровня риска от источника химической опасности, а также принятие решения согласно определённому уровню риска. Риск-менеджмент считается полезным инструментом экологической политики для рациональной и объективной расстановки приоритетов и принятия решений [5]. Целью данной работы было применение существующей методологии оценки риска для здоровья населения от воздействия химических веществ [4] для обоснования применения имеющихся технологий ремедиации почв на примере загрязненного участка в г. Серпухове Московской области. В работе был рассмотрен исторически загрязненный ПХБ земельный участок, примыкающий к предприятию ООО «Серпуховский конденсаторный завод КВАР», где вплоть до 1990 г. при производстве электрохимического оборудования использовали изоляционные масла на основе ПХБ. В ходе обследования, проведенного на этой территории в 2020 г., было выявлено два земельных участка с разной концентрацией ПХБ в почве [2]. Количественное содержание ПХБ в почве земельных участков представлено в табл. 1.

На примере этих почв была разработана и запатентована технология рекультивации ПХБ загрязненных земель с помощью древесных растений-фиторемедиантов семейства ивовых (ива прутовидная (*Salix viminalis*) и тополь черный (*Populus nigra*)), отличающихся быстрым ростом и развитой корневой системой, а также высокой скоростью транспирации поллютантов по флоэме растений. Для интенсификации процесса очистки в качестве эффекторов были использованы осадки хозяйственно-бытовых сточных вод (ОСВ) и биочар, полученный путем их пиролиза [1]. Расчеты показали, что для полной очистки данных исторически загрязненных почв потребуется около 5 лет [2].

Таблица 1. Уровни загрязнения почвы на двух земельных участках, находящихся на территории, примыкающей к заводу «КВАР» в г. Серпухове (2020 год).

Земельный участок	Площадь, га	Средний уровень загрязнения ПХБ поверхностного слоя почвы (0-50 см), мг/кг	Превышение ОДК для ПХБ в почвах
L1	0,35	4537	226 865
L2	0,44	45	2 223

Таблица 2. Среднесуточные дозы поступления ПХБ из почвы в организм человека пероральным, ингаляционным и кожно-резорбтивным путем на двух загрязненных участках вблизи завода «КВАР» и уровни риска для здоровья населения

Земельный участок	Среднесуточные дозы поступления ПХБ разными путями, мг/(кг*сут)			Уровень риска
	Пероральное	Ингаляционное	Кожно-резорбтивное	
L1	0,012	1,27	0,0012	$8,7 * 10^{-2}$
L2	0,00013	0,012	$1,24 * 10^{-5}$	$8,3 * 10^{-5}$

Однако, загрязненные химическими веществами почвы создают определенный уровень риска для здоровья населения. Поэтому при выборе способа очистки почв необходимо учитывать возможные риски для населения в течение всего периода обработки. Оценка риска подразумевает процесс количественной оценки опасности возникновения неблагоприятных последствий для человека под действием загрязняющих химических веществ [4]. Уровни риска классифицируются по критериям приемлемости риска для здоровья населения. Выделяют 4 уровня риска: пренебрежимо малый ($\leq 1 \times 10^{-6}$), предельно допустимый (от $> 1 \times 10^{-6}$ до $\leq 1 \times 10^{-4}$), приемлемый профессиональный (от $> 1 \times 10^{-4}$ до $\leq 1 \times 10^{-3}$) и неприемлемый ($> 1 \times 10^{-3}$). Основываясь на подходах по определению уровня риска, были рассчитаны среднесуточные дозы поступления ПХБ из почвы в организм человека для двух участков L1 и L2, на основании чего были определены уровни риска, которые исходят от загрязненных почв (табл. 2).

Расчёты показали, что участок L1 с уровнем содержания ПХБ в почве более 230 тыс. ОДК [3] имеет неприемлемый риск, а участок L2 с уровнем около 2 тыс. ОДК – предельно допустимый риск для здоровья населения. При неприемлемом уровне риска необходимо срочное устранение источника опасности. Поэтому участок L1 необходимо восстанавливать с применением технологий *ex situ*, которые предполагают изъятие загрязненной почвы и ее транспортировку к месту захоронения или ремедиации. Земельный участок L2 можно подвергнуть ремедиации методами *in situ*, так как химическое загрязнение не оказывает чрезвычайно опасного воздействия на здоровье населения. Таким образом, для рекультивации второго земельного участка можно применять разработанный нами метод фиторемедиации [2].

Литература

1. Лапушкин М.Ю., Васильева Г.К. Лукьянова Н.Н., Коломийцев Н.В. Кошелев А.В. 2021. Патент на изобретение RU №2774078 С1 «Способ фиторемедиации почв, загрязненных полихлорированными бифенилами» от 25.10.2021. Заявитель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. Оpubл. 15.06.2022, Бюлл. №17.
2. Лапушкин М.Ю., Васильева Г.К., Лукьянова Н.Н. 2022. Оценка риска как инструмент принятия решения при рекультивации земель, загрязненных химическими веществами. *Мелиорация и водное хозяйство*, 2022, 1: 17-22. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-22-26.
3. Постановление главного государственного санитарного врача от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
4. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. -143 с.
5. Darmendrail D. Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe Volume 1 Scientific Basis / D. Darmendrail, C. Ferguson // - 1998 - LQM Press, Nottingham – 107 p.
6. Stockholm convention on persistent organic pollutants (POPs) - Secretariat of the Stockholm Convention (SSC), 2020, – 79 p.

ПОЧВЫ ОКОЛО МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОНИКОВ В ПРИБАЙКАЛЬЕ (НУКУТСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ)

Лопатовская О.Г.

Иркутский государственный университет, 664011, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
lopatovs@gmail.com

Нукутское месторождение лечебных вод относится к провинции хлоридных натриевых и сульфатных вод Ангаро-Ленского артезианского бассейна, осинскому типу минеральных рассольных вод, высокой минерализации (50–600 г/л), хлоридно-кальциевого состава с высоким содержанием сероводорода [1, 2]. По ионному составу минеральная вода первого водоносного горизонта относится к сульфатным магниевых-кальциевым водам. Общая минерализация 2,5–3,0 г/л. Газонасыщенность – 46 мл/л. Состав растворенного газа углекислотно-азотный (азот – 51–66 %, углекислота – 30–40 %). Минеральная вода второго водоносного горизонта сульфидная ($H_2S + HS^- = 40–90$ мг/л). Газонасыщенность – 122 мл/л. Состав растворенного газа углекислотно-азотный (азот – 38–44 %, углекислота – 41–51 %, сероводород – 5–15 %). Минеральная вода третьего водоносного горизонта также сульфидная ($H_2S + HS^- = 230–270$ мг/л). Сульфатно-хлоридные рассолы имеют минерализацию 54–70 г/л. Газонасыщенность сульфидных вод – 227 мл/л. Наличие в рассолах сульфатредуцирующих бактерий свидетельствует о современной генерации сероводорода.

Для определения влияния Нукутского минерального источника на состав солей и распределение его по профилю почвы были заложены разрезы на расстоянии от источника от 50 см до 200 м. На участке около каптированной скважины растительность отсутствует. На поверхности почвы выцветы солей, профиль мокрый, сильный запах сероводорода. Почва: Солончак сульфидный типичный. Профиль: S–SG–CG,s,cs.

Первый разрез заложен около минерального источника в 50 см от скважины. На поверхности почвы видны выцветы солей. Во флористическом составе присутствуют виды луговой и болотной растительности. Почва вскипает от 10 % HCl по всему профилю. В нем выявлены ржавые пятна и примазки, перегнившие остатки и угольки растений, раковины моллюсков, новообразования карбонатов кальция и гипса. Гранулометрический состав в основном тяжелосуглинистый. Почвы засолены нейтральными солями. Химизм засоления сульфатно-хлоридный кальциево-натриевый. Сумма солей максимальна в верхней части профиля (5,4 %) и уменьшается с глубиной (3,5 %), pH – 7,9. Хлор, натрий и сульфаты поступают из минерального источника и породы.

Другой разрез заложен в 20 м от источника. Ассоциация лугово-овсянницевая с примесью солянок. На поверхности почвы соли. Почва вскипает от 10 % HCl по всему профилю. В профиле встречаются черные пятна угольков, ржавые пятна и примазки, белесые стяжения и конкреции карбонатов кальция и гипса. Гранулометрический состав в основном легкосуглинистый. Запах сероводорода слабый. Мощность почвенного профиля 52 см. Почва: Солончак темный вторичный мицеллярно-карбонатный, гипс содержащий. Профиль: S–[AU]s–BCs,cs,ca–Ccs,ca,s. Максимальное количество солей в слое 20 см, обусловлено выпотным типом водного режима. Тип засоления хлоридно-сульфатный кальциево-натриевый. Сумма солей изменяется сверху вниз от 1,7 до 1,5 %, pH – 8,0.

Третий разрез расположен на расстоянии 50 м от источника. Почва вскипает от 10 % HCl по всему профилю, встречаются карбонатные и гипсовые конкреции, белесые стяжения, псевдомицелий. Гранулометрический состав в основном среднесуглинистый. Мощность почвенного профиля 106 см. Почва: Солончак темный вторичный мицеллярно-карбонатный, гипсосодержащий с погребенным гумусовым горизонтом. Профиль: S–AU–Bs,cs,ca–[AU]s,ca,s–Ccs,ca,s. Максимальное содержание солей в почвенном профиле на глубине 20–50 см указывает на то, что почва находилась под влиянием изливаемой воды источника. Вероятно, было преобладание восходящего тока влаги в профиле почвы. Засоление хлоридно-сульфатное кальциево-натриевое. Максимум солей – в верхних горизонтах (2,1 %), минимум – на глубине 100 см (1,6 %), pH щелочной (8,2–8,5).

Источник Наймодаи расположен юго-восточнее пос. Наймодаи под лугово-болотной растительностью с преобладанием осок. В первом разрезе около источника засоление сульфатно-кальциевое, постепенно уменьшается сверху вниз. На глубине 80 см происходит увеличение содержания гипса, поступающего из почвообразующих пород. Содержание гумуса – 6–15 %, рН 7,6–8,3. На глубине 60 см обнаружен погребенный органогенный горизонт. По гранулометрическому составу почва в основном легкосуглинистая, с глубины 0–10 см отмечается незначительное утяжеление до глины легкой. Затем вниз по профилю происходит облегчение грансостава до супеси. Почва: Перегнойно-гидрометаморфическая-засоленная. Профиль: Н–Нса,сs–Gs,nc,сs–Gs[h].

Второй разрез был заложен юго-восточнее пос. Наймодаи под луговой растительностью с преобладанием осок. Засоление сульфатно-кальциевое. В составе солей преобладают сульфаты кальция и натрия. Содержание гумуса – 6 % и перегноя – 21 %. рН (7,9–8,3) распределяется неравномерно, увеличивается на глубине. По грансоставу почва в основном супесчаная, внизу средняя глина. Почва: Перегнойно-гидрометаморфическая-засоленная. Профиль: Н–Qs,са,сs–Gса–Q(h).

Юго-восточнее пос. Корсунгаи под луговой растительностью с преобладанием осок заложен разрез, в котором сульфатно-магниевое-натриевое засоление. рН щелочной (8,0–8,6). Максимальное содержание обменных кальция и магний на глубине 60 см. Содержание гумуса – от 2 до 11 %. Это результат слабого накопления органических остатков в условиях недостаточного увлажнения. По грансоставу почва относится в основном к среднесуглинистой. Но на глубине 40–50 см происходит утяжеление грансостава до суглинка тяжелого и ниже до глины средней. Почва: Перегнойно-гидрометаморфическая-засоленная. Профиль: Н–Qs,са,сs–Gса.

Другой разрез заложен юго-восточнее пос. Корсунгаи на лугу. Засоление сульфатно-натриевое, процесс засоления сменяется рассолением. В составе солей преобладают сульфаты кальция и в меньшей степени натрия. Реакция почвы щелочная (8,0–8,7). Содержание обменных катионов неравномерно распределяется с глубиной: калий от 0,1 до 5 мг-экв/100 г почвы, кальций до 15 мг-экв/100 г почвы. Содержание гумуса – 2–10 %. По грансоставу почва среднесуглинистая. Почва: палевая типичная. Профиль: АJ–BPLса–BCA–Cса.

Участки разнообразного локального засоления почв около минеральных источников связаны с влиянием тектонических процессов и разрывными нарушениями, что приводит к формированию выходов подземных вод в виде минеральных источников различного химического состава. С этим же связано поступление солей в почвы и их аккумуляция в верхних горизонтах.

Вблизи минеральных источников формируются почвы, относящиеся к стволу синлитогенных, отдела: аллювиальные, стратоземы и слаборазвитые. Состав и концентрация солей определяется гидрохимией источников. Выявлено четыре главных типа засоления: гидрокарбонатное, хлоридно-натриевое, сульфатно-кальциевое и смешанное.

Литература

1. Ломоносов И. С. Минеральные воды Прибайкалья / И. С. Ломоносов, Ю. Н. Кустов, Е. В. Пиннекер. – Иркутск, 1974. – 222 с.
2. Ткачук В. Г. Минеральные воды южной части Восточной Сибири / В. Г. Ткачук, Н. И. Толстихин. – М.; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1961. – Т. 1. – 256 с.

СПЕЦИФИКА СВОЙСТВ ПОЧВ, РАЗВИТЫХ В САМОБЫТНЫХ УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЯ

Людвиг У. И., Козлова А. А.

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
lyudvig.ulyana@yandex.ru, allak2008@mail.ru

Южное Предбайкалье находится в центре Азиатского материка и занимает равнинную, юго-восточную часть Среднесибирского плоскогорья. Ведущим фактором почвообразования в

регионе является рельеф. Он обуславливает основные природные закономерности рассматриваемого региона [1-3].

Объектами данного исследования стали почвы на вершинах водоразделов: дерново-подзолистые почвы, буроземы оподзоленные и остаточно-карбонатные и почвы, занимающие средние и нижние части склонов: черноземы глинисто-иллювиальные.

Дерново-подзолистые почвы в Южном Предбайкалье занимают наветренные склоны северо-западной экспозиции и вершины водоразделов, холмов и увалов Иркутско-Черемховской равнины и Южной части Предбайкальской впадины. Почвы формируются в условиях промывного водного режима [2]. Специфика свойств почв обусловлена своеобразием действия факторов почвообразования региона. Процессы подзолообразования в них заторможены. Этому способствует сухость климата, основность пород, периодически промывной тип водного режима. По мере выноса из верхних горизонтов почвы органических и минеральных коллоидов, а также молекулярно-растворенных соединений Са, Mg, Fe, Al, К и, отчасти, Mn в почве возрастает относительное содержание нерастворимого кремнезема, в том числе и тончайшего порошка, который освобождается при распаде силикатов и придает верхним слоям почвы своеобразную светло-серую или белесую окраску, весьма напоминающую цвет золы. Отсюда и происходит название подзолистый горизонт, который является существенной и характерной особенностью почв дерново-подзолистого типа [6]. Для дерново-подзолистых почв Сибири характерна «останцовая» форма перехода от элювиального к текстурному горизонту: в нижней части осветленного и облегченного элювиального горизонта наблюдаются отдельные полуразрушенные фрагменты текстурного горизонта, размер и количество которых постепенно увеличивается с глубиной [1].

Буроземы оподзоленные в Южном Предбайкалье развиваются на наветренной более увлажненной стороне водоразделов, верхней части склонов холмов и увалов Южного Предбайкалья, текстурная дифференциация профиля слабая. Происхождение буроземов оподзоленных связано со свойствами материнских пород – богатством их основаниями и первичными минералами [3]. Для их профиля характерно наличие дернового горизонта, под которым располагается темно-серый или серовато-бурый гумусовый горизонт, имеющий мелкокомковатую непрочную структуру. В оподзоленных почвах нижняя часть горизонта А имеет светлую окраску. Переход в горизонт В постепенный и выражается в изменении окраски, плотности и гранулометрического состава. Иллювиально-метаморфический горизонт имеет бурую окраску, крупнозернисто-комковатую структуру и более тяжелый, чем в горизонте А, гранулометрический состав. Однако по валовому составу значительных изменений в профиле не наблюдается, что позволяет считать горизонт В метаморфическим, а не иллювиальным. При переходе к материнской породе окраска светлеет, а гранулометрический состав становится более легким. Наличие в профиле буроземов оподзоленных хорошо выраженного ореховатого с ярко бурой окраской горизонта В, часто более тяжелого по гранулометрическому составу, чем выше- и нижележащие горизонты, объясняется литологической неоднородностью отложений [1-3]. Формирование буроземов темных остаточно-карбонатных в Южном Предбайкалье приурочено к местам выхода на поверхность сероцветных нижнекембрийских и красноцветных верхнекембрийских карбонатных пород (известняков и доломитов верхоленской и братской свиты) [1]. Для них характерен полноразвитый профиль с горизонтом В и включает лесную подстилку небольшой мощности, гумусовый горизонт темно-серой или коричнево-серой окраски, в котором встречаются обломки карбонатных пород, переходный горизонт бурой или коричневой окраски, зернистой структуры, как правило, карбонатный с обломками пород. Буроземы формируются в условиях недостатка тепла и влаги, длительного промерзания. Процессы выщелачивания, оглинивания и лессиважа в них заторможены [2].

Черноземы глинисто-иллювиальные занимают средние и нижние части склонов. Процесс чернозёмообразования или гумусово-аккумулятивный (дерновый) процесс связан с взаимодействием травянистой растительности, климата, рельефа местности, материнской породы и других факторов почвообразования. Он протекает под влиянием многолетней травянистой растительности в условиях умеренного влажного климата, формирующего лесостепные и степные ландшафты, и, особенно, энергично на рыхлых карбонатных горных породах (лёссах) [5]. Сущность этого процесса состоит в обогащении материнской геологической породы или почвенной толщи

(особенно верхней части) специфическим органическим веществом – гумусом. Ведущим процессом почвообразования при формировании черноземов является гумусоаккумулятивный процесс, обуславливающий развитие мощного гумусового горизонта, накопление элементов питания и оструктуривание профиля. Травянистая растительность ежегодно оставляет в почве большое количество опада – растительных остатков, 70-80 % которых составляют корни. Гидротермические условия степной и лесостепной зон благоприятствуют процессу гумификации, в результате которого образуются сложные гумусовые соединения (в основном гуминовые кислоты), придающие почвенному профилю тёмную окраску [6].

Специфика почвообразования в Южном Предбайкалье имеет свои особенности, обусловленные взаимодействием различных факторов. Рельеф, как ведущий фактор, оказывает значительное влияние на распределение и типологию почв в регионе. На вершинах водоразделов, формируются дерново-подзолистые почвы, буроземы оподзоленные и остаточно-карбонатные, в средних и нижних частях склонов, где происходит более интенсивное накопление органики и влаги, формируются черноземы глинисто-иллювиальные.

Литература

1. Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. / Г.А. Воробьева. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – 205 с.
2. Козлова А.А. Почвы Южного Предбайкалья: разнообразие и закономерности распространения / А.А. Козлова, И.А. Белозерцева, Д.Н. Лопатина // География и природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 103-114.
3. Кузьмин В.А. Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья / В.А. Кузьмин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – 175 с.
4. Муха В.Д. Агрочвоведение / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха. – М.: Колос, 2004. – 528 с.
5. Почвоведение: учебник для университетов. В 2 частях / под ред. В.А. Ковды и Б.Г. Розанова // Часть 2. Типы почв, их география и использование. – М.: Высшая школа, 1988. – 353 с.
6. Почвоведение и почвообразование / Л.А. Гришина и др. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.

ВЛИЯНИЕ ЛИТОГЕННОЙ МАТРИЦЫ НА ГЕОЭКОЛОГИЮ ПОЧВ ГОРНО-ДОЛИННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ВЕТВИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Мартынова Н.А., Жученко Н.А., Мартынова Д.О. Орхокова Е.А., Ливанова А.Д.

Иркутский госуниверситет, г. Иркутск, К. Маркса, 1, natamart-irk@yandex.ru

Байкальский рифт, развивающийся на внутренней стороне большого континента (расположенного на приличном расстоянии, от основных фронтов, связанных со столкновением Тихоокеанской плиты и Индостанского субконтинента с Евразией) – это, вероятно, уникальный внутриплитный феномен с геодинамической и тектонической точек зрения. Здесь, на стыке двух литосферных мезоплит Восточной Сибири с контрастными термомеханическими свойствами (докембрийского кратона Сибири и смежного с ним складчатого Саяно-Байкальского пояса), началось растяжение, приведшее к возникновению самой большой депрессии в рифтовой системе и самого глубокого в мире пресноводного озера Байкал. Расположение Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) как кайнозойского континентального рифта на пересечении двух литосферных плит: древней Сибирской платформы и Центрально-азиатского подвижного пояса – привело к формированию большого количества разломов, депрессий и нагорий и большому разнообразию геологических пород (и магматических, и метаморфических, и осадочных), участвующих в почвообразовании.

На формирование почвенного разнообразия Байкальской рифтовой зоны, кроме большого разнообразия горных пород, влияют контрастность климатических условий, вертикальная поясность, котловинный эффект, солярная и ветровая экспозиционность склонов - чередование по элементам рельефа субгумидных и субаридных условий., Климат БРЗ - резко континентальный со смягчающим действием озера Байкал, с большими суточными и годовыми амплитудами

температур, и среднегодовым количеством осадков от 300 мм в сухо-степном Приольхонье до 700-1000 мм на склонах горных хребтов Хамар-Дабана, Тункинских гольцов и Прихубсугулья. В южной части БРЗ существенное влияние на генезис почв оказывает реликтовая мерзлота. Почвообразующие породы, как косный компонент, оказывают большое непосредственное и/или косвенное влияние на географию, генезис и свойства почв БРЗ, формируя исходно разно-компонентный минеральный субстрат для почвообразования. Влияние литогенной матрицы горных пород в большей степени проявляется на свойствах молодых почв, а для зрелых почв на разных породах одной биоклиматической зоны, характерна конвергенция (сближение) свойств. Исследуемые горно-долинные почвы юго-западной части БРЗ характеризуются сложным полигенетическим сложением, что отражается в распределении по профилю углерода, рН, обменных катионов и карбонатов, в преобладании легкоокисляемых фракций в составе гумуса дневных и погребенных почв в отличие от минеральных горизонтов.

На элювии вулканических шлаков, подвергающихся интенсивным процессам выветривания неустойчивых основных магматических пород, под березово-сосново-лиственничными лесами Тункинской долины БРЗ формируются нейтральные легкосуглинистые щебнистые почвы с выраженным ожелезнением - литозёмы перегнойные иллювиально-железистые и дерново-подбуры перегнойные иллювиально-гумусово-железистые. Рассчитанные на основе элементного анализа элювиально-аккумулятивные коэффициенты Роде и Гарассовица подтверждают интенсивные процессы выветривания вулканических шлаков и выщелачивания, остаточное накопление в верхней части профиля Li, Cr, Cs, Ta, Zr, Th и др. элементов.

На пролювиально-селевых отложениях разновозрастных селевых генераций подгорного шлейфа Тункинских Альп Тункинской и др. котловин байкальского типа БРЗ формируются слабообразованные псаммоземы натечно-(остаточно)-карбонатные первичного ствола почвообразования. Селевые отложения Тункинских Альп, характеризуясь несортированностью, песчаным составом и высокой карбонатностью, перекрывая современные толщи почв, способствуют созданию слоистых почвенных структур синлитогенно-постлитогенного генезиса. Исследование элементного состава мелкозема псаммозёма выявило присутствие целого ряда редкоземельных элементов - REE (Y, Cr, Sn, Th, U, Sc, Zr, Sr), тяжелых металлов (Co, Ni, Cu, Zn) и др. элементов, что позволило установить, что исходным источником для почвообразующего селевого материала псаммоземов Тункинской котловины являются граниты, предположительно протерозойского возраста, распространенные в Тункинских Альпах.

На флювиогляциальных зандровых омергеленных супесях Тункинских Альп (массива Бадары и др.) под березово-лиственнично-сосновыми лесами развиваются почвы дерново-подбуры иллювиально-ожелезненные, часто - с двучленным профилем - с погребенными гумусовыми криотурбированными горизонтами аллювиальных серогумусовых почв легкого грансостава. Это свидетельствует о смене климата и условий осадконакопления: замене синлитогенного почвообразования постлитогенным с формированием дерново-подбуров благодаря хорошему промывному режиму.

В днищах горных долин БРЗ на аллювиально-пролювиальных отложениях с погребенными гумусовыми горизонтами под парковыми еловыми травянистыми рощами формируются слабощелочные достаточно плодородные карбонатные почвы с тяжелым гранулометрическим составом - серогумусовые грубогумусированные квазиглеевые остаточно-омергеленные. Омергелению способствует интенсивное выветривание распространенных в БРЗ карбонатных осадочных и метаморфических пород, а также – подземных минерализованных вод.

В долинах в местах выхода минерализованных вод Тункинской котловины на делювиально-травертиновых отложениях под березово-лиственнично-сосновым лесом сформировались супесчаные среднескелетные карбопетроземы перегнойно-гумусовые насыщенные остаточно-карбонатные засоленные иллювиально-ожелезненные, чему способствует присутствие карбонатов и щелочная среда. В этих условиях накапливаются многие REE, по содержанию которых было диагностировано три разновозрастных этапа образования травертиновых горизонтов. Повышенные содержания Y и V в дневном поверхностном горизонте свидетельствует о смене состава минеральных вод, поступающих к дневной поверхности почвы.

На элюво-делювии мраморизованных известняков, фосфоритов Прихубсугулья в зависимости от выветрелости пород и промывного режима под кронами лиственнично-сосновых травя-

нистых лесов формируются щелочные щебнистые суглинистые карболитоземы темногумусовые гумусо-иллювирированные, буроземы или серые метаморфические остаточно-карбонатные почвы.

На покровных лессовидных карбонатных легко- и средне-суглинистых пылеватых отложениях флювио-гляциально-эолового генезиса, в результате интенсивного их выветривания и выщелачивания, процессов оглинивания и остаточной карбонатности, способствующих накоплению гумуса, под пологом высокобонитетных травянистых сосново-лиственных парковых лесов формируются гумусированные почвы с высокой емкостью катионного обмена: буроземы и серые метаморфические глинисто-иллювиальные остаточно-карбонатные с низкими коэффициентами концентрации целого спектра элементов (Ti, Mo, V, Co, Pb, Cr, Zn, As и др.). Проведенный анализ элементного состава лессов позволяет констатировать, что источником лессового материала горно-долинных ландшафтов юго-западного звена БРЗ служили основные вулканические породы типа базальтов (риолитов), т.к. лессы по огромному количеству редкоземельных элементов, тяжелых металлов и др. наследуют их элементный состав.

БИОТРАНСФОРМАЦИЯ КРАСНОГО ФОСФОРА В ФОСФАТ

Миндубаев А.З.¹, Галимова А.Р.⁴, Гоголашвили Э.Л.³, Бабынин Э.В.², Минзанова С.Т.¹

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

²ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Россия

³Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Россия

⁴Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия

E-mail: mindubaev-az@yandex.ru

Под биодegradацией нами понимается разрушение веществ, материалов, продуктов в результате деятельности живых организмов. Чаще всего при упоминании биодegradации подразумевается действие микроорганизмов. Микробный метаболизм имеет бесконечное разнообразие и способен осуществлять превращения практически любых веществ, в том числе высоко устойчивых.

Преимущество биодegradации, по сравнению с другими методами детоксикации стоков, в ее сравнительной безопасности для окружающей среды. Фактически, применяются отработанные эволюцией естественные механизмы самоочищения в биосфере. В представленной работе исследовалась возможность использования метода биодegradации для ликвидации последствий загрязнения красным фосфором с использованием грибов черных аспергиллов *Aspergillus niger*. Ранее данный метод использован для окисления белого фосфора, который имеет первый класс опасности, до безвредных фосфат-ионов.

Красный фосфор намного более термодинамически стабилен, и это затрудняет его ферментативный метаболизм. Вследствие большей термодинамической устойчивости, красный фосфор, в сравнении с белым, должен медленнее и с большим трудом подвергаться биологической, ферментативной деструкции. Опасность загрязнений красным фосфором состоит, главным образом, в том, что это вещество горючее и продукты горения токсичны [1]. Попытки использовать красный фосфор в качестве высококонцентрированного фосфорного удобрения делались ранее, но не привели к практическому внедрению результатов [2].

Тем не менее, более поздние исследования показали, что красный фосфор служит источником биогенного элемента для тех же самых грибов, которые использовались для биодegradации белого фосфора (рис. 1). Поэтому, разработка способа биодegradации красного фосфора актуальна. В представленной работе показаны полученные количественные данные по биодegradации красного фосфора *A. niger* F-4815D. Установлено достоверное увеличение скорости окисления красного фосфора, выраженное через накопление фосфат-ионов [3]. Фосфат-ионы являются конечным продуктом окисления под воздействием метаболизма растущего в культуральной среде аспергилла.



Рис. 1. Рост *Aspergillus niger* F-4815D в присутствии красного фосфора, 2 суток после посева.

Для точной оценки биodeградации красного фосфора проводилось добавление содержания фосфатов в биомассе гриба, который интенсивно поглощает фосфат-ионы из окружающей среды, к измеренной концентрации фосфат-ионов в культуральной среде. Соответственно, можно предполагать, что с учетом фосфатов в биомассе разница между контролем и опытом должна быть существенной. По сравнению с контролем – стерильной средой, содержащей красный фосфор, скорость возрастает в 1.25 раз. Разница достоверная и проявляется в каждом повторе эксперимента. Причина небольшого увеличения скорости окисления заключается в окислении красного фосфора в процессе хранения. Поскольку аспергилл изначально рос в среде, обогащенной фосфатами, активность процесса биodeградации красного фосфора была снижена по сравнению с теоретически возможной.

Литература

1. Hemmilä M., Hihkiö M., Kasanen J.-P., Turunen M., Järvelä M., Suhonen S., Pasanen A.-L., Norppa H. Cytotoxicity and genotoxicity in vitro and irritation potency in vivo of two red phosphorus-based pyrotechnic smokes // *Mutation Research*. 2010. Vol. 701. No. 2. P. 137–144. DOI: [10.1016/j.mrgentox.2010.06.007](https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2010.06.007)
2. Sokolov A.V., Talanov N.D., Gladkova K.F., Speranskaya G.V., Bulaeva V.G., Vasil'eva L.V. Red Phosphorus as Fertilizer // *Khim. Sel'sk. Khoz.* Vol. 1976.14. P. 22-24.
3. Миндубаев А.З., Галимова А.Р., Кузнецова О.Н., Ахбарова Л.И., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К. Биотрансформация красного фосфора в фосфаты при помощи *Aspergillus niger* // *Вестник технологического университета*. - 2023. – Т. 26. - №10. – С. 41-45. DOI: 10.55421/1998-7072_2023_26_10_41

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ ЦИКЛА ФОСФОРА В ПОЧВАХ РАЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ НЕФТЬЮ

Минникова Т.В.

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванова, 344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1; loko261008@yandex.ru

Почвы разных климатических зон различаются по своим физико-химическим и биологическим свойствам, что определяет устойчивость к загрязнению различными химическими веществами. Черноземы обыкновенные отличаются тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, высоким содержанием органического вещества и микроэлементов, в том числе азота, фос-

фора и калия. При этом в черноземах при загрязнении нефтью установлено незначительное ингибирование активности фосфатаз [1]. В дерново-подзолистой почве, имеющей более легкий гранулометрический состав содержится меньшее содержание азота и фосфора в сравнении с черноземом обыкновенным [2,3]. Активность ферментов цикла фосфора очень важна для понимания процессов протекания биогеохимических циклов, особенно при антропогенном нарушении почв [4]

Цель – оценить изменение активности ферментов цикла фосфора в почвах разного гранулометрического состава при загрязнении нефтью.

Для исследования активности ферментов цикла фосфора исследовали почвы, контрастные по своим физико-химическим свойствам (гранулометрический состав, pH, содержание органического вещества, содержание микро- и макроэлементов и др.): чернозем обыкновенный (пашня, Воронежская область) и дерново-подзолистая почва (лес, Московская область). Почвы загрязняли нефтью в концентрациях 1, 5 и 10% от массы почвы. Эксперимент проводили в лабораторных условиях при контроле влажности и температуры воздуха и почвы.

Через 30 суток от момента загрязнения образцы почвы были высушены и подготовлены для анализа ферментативной активности. Были проанализированы 3 фермента цикла фосфора: кислая и щелочная фосфатаза, отвечающие за гидролиз п-нитрофенилфосфата с образованием минерального фосфора и аденозинтрифосфатаза, связанная с гидролитическим расщеплением и образованием аденозиндифосфата и ортофосфата.

Загрязнение дерново-подзолистой почвы нефтью оказывает влияние на активность кислой и щелочной фосфатазы только при 5 и 10% нефти - 12 и 27% (кислая) и 9-20% (щелочная) относительно контроля. При этом в черноземе обыкновенном активность кислой и щелочной фосфатаз снижалась в большей степени уже при 1% нефти со снижением при 5 и 10% нефти на 10-46% (кислая) и на 14-25% (щелочная) относительно контроля.

Активность аденозинтрифосфатазы, как фермента, участвующего в гидролитическом расщеплении с образованием аденозиндифосфата и ортофосфата, в дерново-подзолистой почве при 1% нефти была снижена на 26%, при 5 и 10% нефти – 88 и 98% относительно контроля. В черноземе активность фермента была достоверно ингибирована при 5 и 10% нефти на 32 и 65% относительно контроля.

Для дерново-подзолистой почвы по чувствительности к загрязнению нефтью составили ряд ферментов (в скобках усредненное относительное значение): фосфатаза щелочная (88) < фосфатаза кислая (86) < аденозинтрифосфатаза (29); для чернозема обыкновенного: фосфатаза щелочная (82) < фосфатаза кислая (76) < аденозинтрифосфатаза (66). При загрязнении чернозема обыкновенного и дерново-подзолистой почвы наиболее чувствительный фермент – аденозинтрифосфатаза.

По своей информативности ферменты при загрязнении нефтью расположены следующим образом - для дерново-подзолистой почвы: аденозинтрифосфатаза (-0,69) < фосфатаза щелочная (-0,93) = фосфатаза кислая (-0,93); для чернозема обыкновенного: фосфатаза щелочная (-0,60) < аденозинтрифосфатаза (-0,73) < фосфатаза кислая (-1,00). Наиболее высокой информативностью при загрязнении чернозема обыкновенного и дерново-подзолистой почвы обладают аденозинтрифосфатаза, фосфатаза кислая и щелочная.

Высокая чувствительность и информативность аденозинтрифосфатазы в черноземе обыкновенном обусловлена тем, что этот фермент более тесно связан с количественным учетом фосфора, отщепляющегося в результате ферментативной реакции при взаимодействии АТФ с почвой. В отличие от аденозинтрифосфатазы, кислые и щелочные фосфатазы в почве отвечают за изменение содержания нитрофенолов с образованием органического фосфора и минеральных субстратов.

Таким образом, была установлена высокая чувствительность и информативность аденозинтрифосфатазы, а также кислой и щелочной фосфатазы при загрязнении чернозема обыкновенного и дерново-подзолистой почвы нефтью. Результаты исследования возможно использовать при оценке состояния почв применительно к циклу фосфора при химическом загрязнении.

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 Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории в рамках межрегионального НОЦ Юга России (FENW-2024-0001).

Литература

1. Minnikova T., Kolesnikov S., Revina S., Ruseva A., Gaivoronsky V. Enzymatic Assessment of the State of Oil-Contaminated Soils in the South of Russia after Bioremediation. *Toxics* 2023, 11, P. 355. <https://doi.org/10.3390/toxics11040355>
2. Агрехимия. - под ред. Смирнов П.М., Муравин Э.А. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1984. -304с.
3. Каримуллин Л.К., Петров А.М. Ферментативная активность дерновых подзолистых почв в условиях длительного нефтяного загрязнения // Вестник Казанского технологического университета, 2014, Vol. 17, No. 10, P. 122-124.
4. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв. Экобиотех, 2018, Том 1, № 2, С. 80-92. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92>

ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А.

Читинская государственная медицинская академия, 672000, г. Чита, ул. Горького, д. 39 «А»
pochta@chitgma.ru

В настоящее время чрезвычайно актуальными являются оценка и доказательство неблагоприятного воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье населения, что нашло свое отражение в приоритетных целях Федерального проекта «Генеральная уборка». Проект направлен на решение многолетней проблемы улучшения состояния территорий и акваторий, где выявлен вред окружающей среде, возникший в результате прошлой экономической и иной деятельности, а обязанности по его устранению не были выполнены, либо были выполнены не в полном объеме. В соответствии с проектом разработаны методические рекомендации МР 2.1.10.0273-22 «Оценка воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье граждан и продолжительность их жизни, в том числе с возможностью экспресс-оценки», где создан инструментарий для выделения тех объектов, которые могут оказать наибольшее негативное воздействие на здоровье населения. В Забайкальском крае возникновение территорий с избытком содержания и дисбалансом химических элементов в объектах среды обитания, как правило, связано с наличием месторождений полезных ископаемых, разработка которых привела к возникновению геохимических аномалий техногенного происхождения.

По оценке Министерства природных ресурсов и экологии РФ Забайкальский край является наиболее проблемным регионом страны по направлению «Экологическая реабилитация территорий, подверженных негативному воздействию объектов накопленного экологического ущерба в результате прошлой хозяйственной деятельности добывающей и горно-обогатительной промышленности», что связано с длительной историей добычи и переработки минерального

с

ы

Р На территории Забайкальского края находится более 80 объектов накопленного вреда окружающей среде. В регионе сформировалось несколько десятков зон техногенного загрязнения окружающей среды, обусловленного добычей и переработкой полезных ископаемых, что привело к накоплению большого количества производственных отходов горнорудной промышленности, характеризующихся высоким содержанием токсичных элементов. Техногенные образования в большинстве случаев находятся вблизи населенных пунктов, поскольку изначально предполагалось строительство горно-обогатительных комбинатов с соответствующей социальной инфраструктурой (жилых домов, социальных учреждений и т.д.) для обслуживания работающего населения.

е

р

р

и

В результате в населенных пунктах, где размещаются объекты горнорудной отрасли, сложилась неблагоприятная экологическая ситуация, обусловленная накоплением огромных масс отходов добычи и переработки полезных ископаемых.

В селитебной зоне п. Хапчеранга находится хвостохранилище общей площадью 56,7 га, где складировано 6,2 млн т отходов переработки оловополиметаллических руд. На прилегающей территории в почвах наблюдается превышение нормативных значений для свинца в 1,08 - 3,9 раза, кадмия в 1,02 - 3,5 раза, меди в 1,6 - 3,9 раза, цинка в 2,2 - 17 раз, мышьяка в 10,3 – 23,1 раза. Вблизи пгт Шерловая Гора находятся карьер, отвалы вскрышных пород, склады бедных и подготовленных к переработке руд. Площадь хвостохранилища составляет 80 га, отвалов вскрышных пород и бедных руд соответственно 210 и 53 га, установлены геохимические аномалии олова, мышьяка, свинца, цинка, кадмия, висмута, вольфрама, бериллия и других элементов. Разработка Вершино-Дарасунского золоторудного месторождения привела к формированию геохимических аномалий, характеризующихся высоким содержанием мышьяка. В хвостохранилище Дарасунской золотоизвлекательной фабрики площадью 80,0 га складировано 6,45 млн т отходов. В процессе отработки Шахтаминского молибденового месторождения сформировалось хвостохранилище площадью 16,0 га объемом 4,524 млн. т отходов производства, которое является источником загрязнения почвы, воздушного бассейна и водных объектов молибденом, медью и свинцом.

В Нерчинско-Заводском районе на протяжении более двухсот лет велась разработка свинцово-цинковых руд Приаргунского полиметаллического пояса, в 1953-1994 г. функционировало одно из предприятий Нерчинского полиметаллического комбината по переработке и обогащению руд Старо-Зерентуйского серебряно-свинцового, Средне-Зерентуйского и Октябрьского полиметаллических месторождений, отходы производства которого общей массой 2,02 млн т складированы в хвостохранилище площадью 37 га в непосредственной близости от с. Горный Зерентуй. В настоящее время на территории Газимуро-Заводского района ведется добыча и переработка руд Быстринского месторождения меди, железа, золота, Новоширокинского золотополиметаллического месторождения и освоение руд Култуминского месторождения меди, золота, железа, серебра. В Нерчинско-Заводском и Газимуро-Заводском районах впервые был выявлен и изучен очаг распространения эндемической болезни - болезни Кашина - Бека (уровская болезнь). В Александрово-Заводском районе в п. Новый Акатуй длительное время функционировало горнорудное предприятие по переработке и обогащению полиметаллических руд, в результате его деятельности сформировалось хвостохранилище общей массой отходов 1,37 млн т и площадью 10,8 га. В настоящее время вблизи п. Бутунтай ведется добыча и переработка руд Нойон-Тологойского месторождения свинца и цинка. В Приаргунском районе (п. Кличка) в результате переработки руд сформировалось хвостохранилище общей площадью около 50 га и массой 4,4 млн т, расположенное на расстоянии 3 км к юго-западу от населенного пункта.

Таким образом, Забайкальский край как горнопромышленный регион с почти 350-летней историей добычи различного минерального сырья и разнообразием его ландшафтно-климатических условий может рассматриваться как природный полигон для изучения процессов миграции и накопления химических элементов в объектах окружающей среды и влияния измененной геохимической среды на организм человека.

БИОХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОУГЛЯ

Орлова Н.Е., Орлова Е.Е., Смирнова К.А., Шахназарова В.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет, 16-я линия Васильевского острова, 29,
Санкт-Петербург, 199178 Россия, e-mail: norlova48@mail.ru

Почвы, являясь одним из самых ценных ресурсов в мире, обладают уникальным свойством – плодородием. Плодородие напрямую зависит от наличия органических веществ и гумуса, которые являются ключевыми факторами для поддержания стабильности и устойчивости

экосистем. В основе воспроизводства плодородия почв лежат стабилизация и/или рост гумусированности почв. В последние годы для увеличения содержания органического углерода в почвах предлагается использовать биоуголь (БУ). БУ является перспективным органометным мелиорантом почв. Его получают путем пиролиза древесины или других отходов растительного происхождения при отсутствии кислорода, переводя соединения углерода в стабилизированное состояние. В литературе широко обсуждается вопрос о целесообразности применения БУ в сельском хозяйстве. К настоящему времени получен обширный экспериментальный материал по изучению его свойств, влияния на агрономически ценные свойства почв и уровень плодородия [1, 2]. Установлено, что БУ стабилен, устойчив к химическому и биохимическому воздействию, имеет высокую абсорбционную способность и огромную пористость. В плане стратегии использования БУ исследователи наиболее часто предлагают внесение его в почвы с целью повышения плодородия, а также в целях смягчения последствий изменения климата за счет секвестрирования углерода. В тоже время есть сведения как о положительных, так и о негативных процессах, возникающих в почвах под влиянием БУ. Основное беспокойство вызывают данные об интенсификации процессов минерализации почвенного органического вещества.

В задачу данной работы входило изучение влияния БУ на биохимические и микробиологические процессы трансформации органического вещества агродерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава Ленинградской области. Исследования проводили в инкубационных и вегетационно-полевом опытах. Почвы характеризовались аналогичным генезисом и структурой, но различались по содержанию гумуса: низкое, среднее, высокое. БУ был произведен быстрым пиролизом из древесины березы и осины при 550°C (инкубационные эксперименты) и 600°C (вегетационно-полевой опыт). Несмотря на высокое общее содержание (82-85%), углерод в БУ представлен очень трудно окисляемыми формами органического вещества, лабильных фракций крайне мало. Водорастворимые соединения углерода в БУ практически отсутствуют (содержание C_{H_2O} менее 0,009%), обогащенность органического вещества азотом крайне низкая (отношение C к N более 200). Подробная характеристика почв и БУ была представлена ранее [3].

Показано, что внесение БУ достаточно быстро приводит к изменениям в составе микробиоты и прокариотного сообщества агродерново-подзолистой почвы. Происходит увеличение доли олиготрофных бактерий фил *Verrucomicrobia*, *Planctomycetes*, *FBP*, снижение копитрофов филы *Firmicutes*, а также перестройка сообщества бактерий-гидролитиков, в частности, возрастание обилия класса *Sphingobacteriia* и порядка *Muxococcales*. При более длительном (в течение вегетационного сезона) взаимодействии почвы с БУ в ходе полевого опыта повышается обилие гидролитиков (фила *Actinobacteria*, порядок *Sphingobacteriales*) и сокращается представителей олиготрофных фил *Planctomyces* и *Verrucomicrobia*. В сообществе почвенных грибов под влиянием БУ возрастает обилие отдела *Zygomycota*. Сопряжено с этими изменениями наблюдается интенсификация основных процессов трансформации органического вещества.

Внесение БУ в почвы в концентрациях 1, 5 и 10% (что соответствует 24, 120 и 240 т/га) стимулирует минерализацию органического вещества, причем независимо от степени их гумусированности. Минерализация в первую очередь затрагивает лабильные гуминовые кислоты (ГК) и слабо гумифицированные вещества нерастворимого остатка (НО) – детрит и слаборазложившиеся органические остатки. Наиболее уязвимыми к данному воздействию БУ почвы с низким содержанием гумуса, ввиду отсутствия в них так называемых «внутренних резервов» органического вещества. В целом, потери гумуса в агродерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава могут быть весьма значительными, достигая 20%. Для компенсации таких потерь гумуса необходимо внесение в почвы не менее 50 т/га органических удобрений.

Интенсификация процессов гумификация под влиянием БУ проявляется в увеличении химической зрелости ГК, а также активном новообразовании ГК за счет труднооблизуемых органических соединений НО или внесенных материалов. Характерной особенностью процесса гумификации при внесении БУ в почвы и в натуральных, и в лабораторных условиях является появление в составе гумуса более устойчивых к микробиологической трансформации фракций ГК (гуматов кальция). Отмеченные особенности являются признаками увеличения стабилизации системы ГВ. Образование этих форм ГК при внесении БУ в почвы обусловлено высоким содержа-

нием в нем кальция, представляет обменную реакцию между водородом кислых функциональных групп ГК и катионами кальция БУ. Предполагается, что длительность существования в почвах образованных гуматов, в первую очередь, будет зависеть от сохранения высокого содержания кальция в БУ. В условиях почвообразования дерново-подзолистых почв – промывного водного режима и кислой реакции среды – по-видимому, он не сопоставим со сроком существования самого БУ. Молекулярная структура и свойства БУ – высокое содержание ароматических структур с развитой системой сопряженных двойных связей (степень ароматичности 92-93%), определяет отсутствие растворимости в воде, в водных растворах кислот, щелочей и свидетельствует о высокой устойчивости в трансформационных процессах.

Роль БУ в процессах образования гумуса в агродерново-подзолистых почвах, прежде всего, определяется его способностью повышать активность почвенной микробиоты и, опосредованно, интенсифицировать новообразование гумусовых веществ, увеличивать долю гуминовых кислот, а в их составе устойчивых форм, что также приводит к повышению стабилизации гумуса в целом.

Применение БУ в качестве мелиоранта агродерново-подзолистых почв может существенно повысить стабилизацию гумуса. Однако внесение БУ в почву целесообразно проводить в сочетании с органическими удобрениями, что позволит избежать развития дегумификационных процессов.

Литература

1. Dai Z., Zhang X., Tang C., Muhammad N., Wu J., Brookes P.C., Xu J. Potential role of biochars in decreasing soil acidification – a critical review// *Sci Total Environ.* 2017. 581. P. 601-611.
2. Lehmann J., Rillig M.C., Thies J. Biochar effects on soil biota – a review// *Soil Biology and Biochemistry.* 2011. №43. P. 1812-1836.
3. Orlova N., Abakumov E., Orlova E., Yakkonen K., Shahnazarova V. Soil organic matter alteration under biochar amendment: study in the incubation experiment on the Podzol soils of the Leningrad region// *Journal of Soils and Sediments.* 2019. V. 19. P. 2708-2716.

АДСОРБЦИЯ СВИНЦА ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА И ПАВ

**Переломов Л.В., Герцен М.В., Козак С.О., Родин П.Р., Большеченко А.А.,
Козьменко С.В., Бурачевская М.В., Атрощенко Ю.М.**

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого (Толстовский университет), 300026, г. Тула, пр. Ленина, 125, perelomov@rambler.ru

Присутствие слоистых силикатов и продуктов их взаимодействия с органическими веществами в наземных и водных экосистемах делает их важнейшими регуляторами биогеохимических циклов многих элементов, включая микроэлементы. Кроме того, органо-минеральные комплексы на основе глинистых минералов и обладающих амфифильностью поверхностно-активных веществ (ПАВ) разных типов могут быть использованы в качестве сорбентов для иммобилизации тяжелых металлов в загрязненных почвах и грунтах и очистки загрязненных вод (при соблюдении требований к токсичности применяемых ремедиантов). В данной работе были изучены сорбционные свойства органо-минеральных комплексов на основе бентонита и поверхностно-активных веществ разных типов по отношению к катионам свинца.

Использование для модификации бентонита катионных и анионных ПАВ уменьшало поглощение модифицированным минералом катионов металла. Полученные результаты согласуются с теоретическими представлениями: интеркаляция катионных ПАВ снижает адсорбционную емкость органо-минеральных комплексов по отношению к катионам микроэлементов за счет конкуренции органических и неорганических катионов за сорбционные позиции и нейтрализации отрицательного заряда поверхности глинистого минерала. Анионные ПАВ, которые

сами по себе слабо адсорбируются отрицательно заряженными поверхностями глин за счет одноименного заряда, оказывают незначительное влияние на адсорбцию катионов глинами [1].

Увеличение поглощения было достигнуто только при использовании ряда коммерческих препаратов амфотерных или цвиттер-ионных (кокоиминодипропионат натрия, кокоамфодиоацетат динатрия) ПАВ (ЦПАВ) и неионогенных (лаураминоксид, кокамид диэтаноламина, алкилполиглюкозид) ПАВ (НПАВ). Результаты элементного анализа полученных образцов показывают значительное увеличение содержания углерода в органо-минеральных комплексах по сравнению с исходным минералом, коррелирующее с длиной цепи углеводородных радикалов соответствующих ПАВ.

Количественные характеристики адсорбции катионов свинца полученными органо-минеральными комплексами при исходной рН сорбционного раствора 5 были изучены с использованием адсорбционных моделей Ленгмюра и Фрейндлиха. Высокие коэффициенты корреляции (0,97 и выше) показывают применимость модели Ленгмюра для описания адсорбции ионов свинца на поверхности исходного бентонита и органо-минеральных комплексов. По величине максимальной адсорбции (A_{∞}) исследуемые сорбенты с участием амфотерных ПАВ образуют ряд: бентонит < бентонит с кокоиминодипропионатом натрия < бентонит с кокоамфодиоацетатом динатрия.

В случае модификации глинистого минерала неионогенными ПАВ анализируемые сорбенты по величине A_{∞} располагаются в ряду: бентонит с кокамидом диэтаноламина = < бентонит < бентонит с лаураминоксидом < бентонит с алкилполиглюкозидом. Несмотря на то, что максимальная расчетная адсорбция органо-минерального комплекса с участием кокамида диэтаноламина меньше чем у бентонита, при относительно низких концентрациях металла он поглощается модифицированным минералом достаточно эффективно.

По величине максимальной адсорбции органо-минеральные комплексы, синтезированные с участием как амфотерных, так и неионогенных ПАВ, образуют возрастающий ряд: бентонит с кокамидом диэтаноламина (НПАВ) = < бентонит < бентонит с лаураминоксидом (НПАВ) < бентонит с кокоиминодипропионатом натрия (ЦПАВ) < бентонит с кокоамфодиоацетатом динатрия (ЦПАВ) < бентонит с алкилполиглюкозидом (НПАВ).

Адсорбционные параметры, рассчитанные для адсорбции свинца исходным и модифицированным бентонитом по уравнению Фрейндлиха, показаны в табл. 1.

Модификация бентонита использованными амфотерными и неионогенными ПАВ сопровождается увеличением отрицательных значений дзета-потенциала (-49 ± 2 – -73 ± 1 мВ) по сравнению с исходным минералом (-37 ± 1 мВ), что свидетельствует о росте стабильности суспензий и увеличении возможности потенциального электростатического взаимодействия поверхностей органо-минеральных комплексов с положительно заряженными катионами свинца.

На наш взгляд, увеличение поглощения свинца органо-минеральными комплексами с участием амфотерных ПАВ можно объяснить следующими процессами. Положительно заряженные фрагменты амфотерных ПАВ взаимодействуют с отрицательно заряженными группами на

Таблица 1. Параметры адсорбции катионов свинца по уравнению Фрейндлиха

Адсорбент	R^2	Кф, л/ммоль	1/n
Бентонит исходный	0,98	0,514±0,004	0,295±0,003
С участием амфотерных ПАВ			
Бентонит + кокоиминодипропионат натрия	0,95	0,803±0,006	0,394±0,003
Бентонит + кокоамфодиоацетат динатрия	0,95	0,859±0,008	0,413±0,005
С участием неионогенных ПАВ			
Бентонит + лаураминоксид	0,97	0,765±0,003	0,329±0,002
Бентонит + кокамид диэтаноламин	0,97	0,625±0,008	0,331±0,004
Бентонит + алкилполиглюкозид	0,97	0,989±0,004	0,345±0,003

поверхности бентонита, при этом их собственные анионные фрагменты остаются вакантными и могут взаимодействовать с катионами свинца. При этом каждая молекула использованного амфотерного ПАВ обладает двумя карбоксильными группами. Авторами [2] предлагаются такие механизмы как электростатическое взаимодействие, ионный обмен и поверхностное комплексообразование (включая хелатирование). По нашему мнению, основным механизмом взаимодействия органо-минеральных комплексов на основе неионных сурфактантов с катионами свинца является образование комплексных соединений между структурами молекул адсорбированного глиной ПАВ и катионом.

Статья подготовлена 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)

Литература

1. Perelomov L., Gertsen M., Burachevskaya M., Hemalatha S., Vijayalakshmi A., Perelomova I., Atroshchenko Y. Organoclays Based on Bentonite and Various Types of Surfactants as Heavy Metal Remedants. *Sustainability*. 2024, 16(11):4804.
2. Ren S., Meng Z., Sun X., Lu H., Zhang M., Lahori A.H., Bu S. Comparison of Cd²⁺ ad-sorption onto amphoteric, amphotericcationic and amphoteric-anionic modified magnetic bentonites. *Chemosphere*. 2019, 239:124840.

НОВЫЙ ПОДХОД К НОРМИРОВАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ

Пинский Д.Л., Шарый П.А., Иовчева А.Д.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, Пушкино, ул. Институтская, д.2, корп.2. pinsky43@mail.ru

Загрязнение почв соединениями тяжелых металлов (ТМ) представляет одну из наиболее важных современных экологических проблем. Это связано с их биотоксичностью, малой подвижностью, способностью накапливаться в почвах и растениях в высоких концентрациях и чрезвычайно медленными процессами самоочищения загрязненных почв. Некоторые ТМ (Cu, Zn, Mo и др.) являются микроэлементами и необходимы для нормального развития растений и человека. С другой стороны, такие металлы как Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn и др. относятся к приоритетным загрязнителям, требующим первоочередного контроля. При этом нормирование ТМ в почвах является неотъемлемой частью мониторинга ее состояния.

Несмотря на усилия, предпринимаемые учеными разных стран, включая РФ, до настоящего времени не разработана научно обоснованные методики нормирования ТМ в почвах. В данной работе предлагается метод оценки ПДК ТМ в почвах, учитывающий основные характеристики состава и свойств почв и растений. В основу метода положены представления о буферности почв по отношению к ТМ, которая включает сумму показателей состава и свойства почв, определяемых в процентах и пересчитанных в баллы: гумус (x_1), физическая глина (x_2), подвижные Fe + Al (x_3), карбонаты (x_4), рН_{вод} (x_5).

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, объединяющее все названные выше характеристики почв и растений:

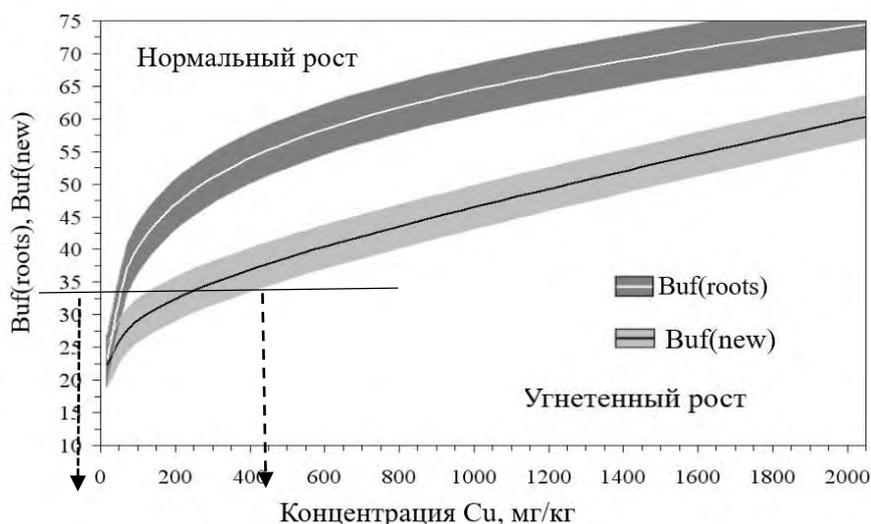


Рис. 1. Рассчитанные кривые ПДК_{Cu} при уменьшении длины надземной части $B_{uf(new)}$ и корней $B_{uf(roots)}$ ячменя на 15% вследствие загрязнения почв Cu . Серым цветом выделены зоны неопределенности в $B_{uf(roots)}$ ($\pm 3,92$ балла) и в $B_{uf(new)}$ ($\pm 3,32$ балла).

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

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, мг/кг; Q_{buf} – буферность почв, баллы; a, b, c, d – положительные коэффициенты уравнения (1), рассчитанные из экспериментальных данных. Для расчета ПДК перегруппируем уравнение (1) и введем критические значения MX_0 , соответствующих 15%-ному или иному снижению морфометрических показателей относительно контроля и отвечающее величине ПДК_{Cu} в исследуемой системе. Например, снижению длины надземной части растений L_{abg0} на 15%:

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

Буферность почв легко рассчитывается по уравнению (3) после подстановки в уравнение (2) значений постоянных a, b, c, d , экспериментальных данных (x_i) и статистической обработки параметров, составляющих буферность почв, включая один из морфометрических показателей ячменя ярового. Строим зависимость $Q_{Buf} = f(C_{Cu})$ для какой-либо морфометрической характеристики ячменя, которую назовем «кривой ПДК_{Cu}», рис. 1.

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

Для определения ПДК_{Cu} необходимо провести горизонтальную линию на уровне $B_{uf(new)}$ до пересечения с кривой ПДК_{Cu} (рис. 1) и найти соответствующие значения концентрации Cu на оси абсцисс, которые и будут соответствовать величинам ПДК_{Cu} по соответствующему морфометрическому показателю и буферности почвы. В данном случае по уменьшению длины надземной части ячменя на 15%.

В данном случае значения ПДК_{Cu}, рассчитанные по уменьшению длины корней составляет 100 мг/кг, а по данным уменьшения длины надземной части растений – 600 мг/кг. Таким образом, длина корней ячменя оказываются более чувствительным индикатором загрязнения почв Cu , чем длина надземной части растений.

Анализ полученных данных показал: 1) ПДК является функцией состава и свойств почв и не может иметь одни и те же значения для разных почв и растений; 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} часто бывают сильно заниженными по сравнению с расчетными данными и зарубежными аналогами.

ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВ КАМЕННОЙ СТЕПИ В ТЕЧЕНИЕ 130 ЛЕТ

В.Е. Приходько¹, Ю.И. Чевердин², А.Ю. Чевердин²

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 2, 142290, e-mail: kpve00@mail.ru

² Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева, Воронежская обл., Таловский район, 397463, e-mail: cheverdin62@mail.ru

Заказник Каменная степь (51°01'44,9" с. ш. 40°43'38,9" в.д.) Воронежской обл. заложен В.В. Докучаевым в 1892 г. – это уникальный полигон управления плодородием почв. В.А. Ковда продолжил развивать проблему восстановления деградированных черноземов. Соответственно, целью работы было установить изменения свойств черноземов при разном использовании и продолжительности (10–130 лет) на водоразделах и склонах на основе длительных наблюдений. Среднегодовые: температура 6.7°C, количество осадков 510 мм. На пашне проводится 7-польный севооборот при небольшом внесении удобрений. Почвы на Сорг отбирали каждые 10 см до глубины 1 м из 3–24 прикопок. Состав гумуса выполнен в двух повторностях по Пономаревой и Плотниковой, содержание подвижных ГК – по Панковой (1960); готовили смешанный образец из трех проб. Для анализа базального дыхания (БД) и микробной биомассы (Смик) брали почвы в 3–5 точках, хранили в холодильнике. Просеивали через сито 2 мм, отбирали корни, увлажняли до 75% ППВ, пред-инкубировали 7 суток при 22°C. БД после инкубации почв 48 часов при 22°C оценивали на газовом хроматографе. Затем добавляли глюкозу и находили СИД. Смик рассчитывали по формуле: $\text{мкг С / г почвы} = \text{СИД (мкг СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{час}^{-1}) \cdot 40.04 + 0.37$ [8].

В заказнике расширились площади засоленных и солонцеватых почв, появились 120 ареалов вторично-гидроморфных почв из-за роста осадков. Они приурочены к водораздельным западинам, склоновым ложбинам и балкам. В них относительно залежи сокращается доля обменного Са, увеличиваются обменные Mg и Na, происходит уплотнение, обесструктурирование, снижение водопроницаемости и порозности, в слое 0–1 м возрастает увлажненность и гумисированность. В центре 110-летней лесополосы обнаружено засоление ниже 1.2 м, в приопушечной части оно отсутствует [1–3].

Почвы водоразделов. В слое 0–20 см концентрируется в залежах и лесных почвах 5.5–5.9% Сорг, на глубине 0.8–1 м – 1.3%, в пахотных почвах (55–130 лет) плакоров – 3.6–4.1% и 0.9–1.3%, соответственно. Градиент падения содержания Сорг в каждом 10-см слое по сравнению с вышележащим слоем плавно снижается вниз по профилю почв естественных ценозов; наблюдается два скачка значительного сокращения Сорг (на 1%) на глубине 40–50 и 60–70 см; за счет уменьшения его количества от разлагающихся корней. На плакорах отмечен перепад гумусового градиента в слое 40–50 см после 12 и 55 лет культивации, на глубине 50–60 см после – 85 и 130 лет.

По сравнению с залежью убыль запасов Сорг слоев 0–20 см и 0–1 м почв лесополосы №40, косимого луга, пашни 12 лет составила 2–13 относ. % (рис.). Почвы водоразделов после 30–130 лет распашки относительно залежи потеряли из слоя 0–1 м запасов Сорг 14–25% относ. (рис. 1). Скорость их убыли из почв водоразделов в результате минерализации относительно залежи наибольшая в первые годы распашки (12 лет), в слое 0–20 см достигли $120 \text{ г С / м}^2 \cdot \text{год}$; она снижается на водоразделах до $45\text{--}23 \text{ г С / м}^2 \cdot \text{год}$ при культивации 30–130 лет.

На склонах при распашке в течение 55–130 лет содержание Сорг слоя 0–20 см не превышает 3.7%, на глубине 0.8–1 м – 0.5–0.8%. В этих почвах потери запасов Сорг составляли в слое 0–20 см 25–41% относ., в слое 0–1 м – 50–63% по сравнению с некосимой залежью. Абсолютная скорость убыли запасов Сорг пахотных почв (55–130 лет) склонов равна $29\text{--}56 \text{ г С / м}^2 \cdot \text{год}$ в слое 0–20 см. Эрозионные потери преобладают над минерализационными, они не уменьшаются при длительном использовании. В почвах склонов после 55–130 лет распашки наблюдается один перепад гумусового градиента на глубине 30–40 см.

Фракционно-групповой состав гумуса. Слой 0–20 см почв лесополосы максимально насыщен ГК 3.4%, ФК – 1.3%, в залежных и пахотных (12–115 лет) почвах водоразделов ГК – 2.8–

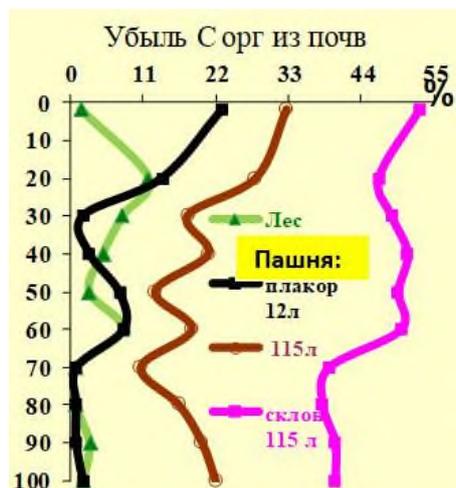


Рис. 1. Убыль Сорг почв относительно залежи, относительные %.

3.2%, в почвах склонов – 1.8–2.7%. На водоразделах содержание ФК слоя 0–20 см залежей и пашни (12 лет) составляет 0.8–1.1%, оно выше, чем у пашен более длительного возделывания 0.5–0.9% (55–115 лет). На пахотных склонах содержание ФК слоя 0–20 см немного меньше, чем на плакорах и сокращается с 0.9 до 0.3% с ростом срока распашки. Отношение Сгк /Сфк слоя 0–20 см залежи составляет 2.6–3.9, под лесополосой – 2.6–5.8, в пахотных почвах водоразделов – 2.7–6.9 и склонов – 2.5–4.7. Отмечена тенденция увеличения Сгк /Сфк пахотных почв по сравнению с залежью. Максимальное количество углерода гумина содержится в залежи. С увеличением длительности использования агроценозов его количество снижается.

Содержание подвижных ГК слоя 0–20 см наибольшее под лесополосой 0.4% и наименьшее в почвах склонов – 0.05–0.14% или 8% и 3–4% от Сорг, соответственно; в залежных и пахотных почвах – 0.22–0.27% или 5–7% от Сорг. Под залежами и лесом уменьшение содержания подвижных ГК вглубь по профилю происходит медленнее, чем на пашне. В почвах склонов отмечается резкое их снижение с глубиной.

Базальное (микробное) дыхание слоя 0–20 см залежных и лесных почв – 0.44–0.36 мкг $\text{CO}_2\text{-C}/\text{г} \cdot \text{час}$, в мочарах и орошаемых почвах – 0.17–0.19 мкг $\text{CO}_2\text{-C}/\text{г} \cdot \text{час}$. В профиле старопахотных почв величина БД максимальна в слое 0–20 см, снижается в два раза на глубине 20–40 см, на глубины 1 м уменьшается до 0.03–0.06 мкг $\text{CO}_2\text{-C}/\text{г} \cdot \text{час}$.

Углерода микробной биомассы больше всего в слое 0–20 см залежи, наименьшее – в орошаемой почве, 1073 и 326 мкг С/г, соответственно. Величина Смик слоя 20–40 см сокращается в 2 раза и затем резко уменьшается. Отношение Смик/Сорг слоя 0–20 см составило 1.0 –лесополоса и орошение, 1.9% – залежь. Вниз по профилю пахотных почв оно снижалось до 0.2.

Таким образом в слое 0–1 м почв Каменной степи после 12–130 лет распашки относительно залежи показано прогрессивное снижение запасов Сорг: плакоры 7–25%, склоны 50–63% относительных, подвижной его формы и микробной биомассы. Наибольшие изменения установлены в мочарах, орошаемых и склоновых почвах. Показана скорость эмиссии CO_2 из почв. В верхних слоях старопахотных почв относительно залежи растет отношение Сгк/Сфк за счет большего снижения фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами, при сокращении С гумина. В почвах склонов и мочарах уменьшается количество ГК и ФК, накапливается С гумина.

Литература

1. Приходько В.Е., Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Изменение форм органического вещества черноземов Каменной степи при разном использовании, местоположении и увеличении степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1494–1504.
2. Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Гидроморфные почвы Каменной Степи. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2020. 253 с.
3. Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И. Почвы Каменной Степи от времени В.В. Докучаева до наших дней // Живые и биокосные системы. 2016. № 16.

ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ФИЗИЧЕСКОГО И ХИМИЧЕСКОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ В ПОЧВАХ СРЕДНЕГО УРАЛА (ХРЕБЕТ БАСЕГИ)

Самофалова И.А.

Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, ул. Петропавловская, 23, e-mail: samofalovairaida@mail.ru

В условиях постлитогенного почвообразования формирование почв происходит за счет процессов выветривания и гипергенеза горных пород. Продукты физического и химического выветривания горных пород представляют минеральную основу почв, определяющих особенности их элементного состава. Анализ соотношения концентраций пар элементов позволяет получить новую информацию о свойствах почв и протекающих в ней процессах. Отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ используют для разделения коры выветривания и почв на типы по их химическому составу. Коэффициент-отношение $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ используют как показатель продвинутой выветривания. Выделяют четыре характерных соотношения: $<3,5$; $3,5-5,5$; $5,5-12$; $>12,0$ [1], коренным образом различающихся в свойствах глин в почвах.

Цель исследования – определить природный рубеж неоднородности химического состава в почвах по диагностике процессов физического и химического выветривания.

Исследования проводили в почвах хребта Басеги, полностью включенного в состав «Государственного заповедника «Басеги». Климат заповедника типично горный, обуславливающий вертикальную зональность растительности и почвенного покрова. Почвенные разрезы (13 точек) заложены с высоты 950 м (гольцовый пояс) до 315 м (горно-лесной пояс). Отбор проб почвенных образцов проводили по генетическим горизонтам. Использовали субстантивно-профильную классификацию почв [2]. Валовый анализ почв проведен в лаборатории физико-химии почв в институте почвоведения имени В.В. Докучаева (г. Москва) рентгенофлуоресцентным методом.

Почвенный покров представлен типами-подтипами почв отделов: слаборазвитые, альфегумусовые, структурно-метаморфические, органо-аккумулятивные, литоземы, глеевые, торфяные [3]. Установлен порядок вертикальных почвенных зон: 1) буроземы (315-655 м); 2) серогумусовые (570-760 м), приуроченные преимущественно к склонам южной и восточной экспозиции; 3) подзолы (740-820 м); 4) подбуры (800-940 м).

Валовое содержание SiO_2 в почвах варьирует от 66,18 % до 74,28 % в гольцовом поясе; в почвах криволесья – в пределах 61-65 %; под субальпийскими лугами – 57,2-63,3 %. В почвах, формирующихся на высоте более 700 м н.у.м., выделяется подзол (р. 31), где SiO_2 составляет 80,3-82,6 %, понижаясь в почво-элювии до 76,9 %. Валовое содержание SiO_2 в почвах в парковом редколесье и в горно-лесном поясе колеблется в диапазоне 58,8-71,6 %. Определена тенденция к обеднению SiO_2 верхних и средних частей профиля по сравнению с нижними неизменными (на плотных породах) горизонтами. Содержание Al_2O_3 в почвах варьирует в среднем от 11,45 % до 16,84 %, что указывает на вероятность присутствия в почвах свободных гидроксидов алюминия (бокситов). Почвы обогащены глиноземом. Содержание Fe_2O_3 варьирует от 0,93 % до 8,53 % в подгольцовом и гольцовом поясах, а в горно-лесном – 3,55-7,81 %. Почвы можно отнести к среднежелезненным [4]. Наиболее узкие молекулярные отношения определены между оксидом кремния и оксидом алюминия, в частности в буроземах горно-лесного пояса ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 6-8$). Молекулярные отношения $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ являются максимальными в почвах, формирующихся на высоте > 700 м н.у.м.

Молекулярные отношения $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ в изучаемых почвах более 3,5 (сиаллитная обывесткованная и ненасыщенная кора выветривания), что характерно для умеренных широт, где в значительной степени может преобладать миграция соединений Al и Fe при относительной стабильности Si. Отношение $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ более 4, что указывает на дериват ферралитной фазы, фазу ее глубокого опесчанивания. Отношение $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ изменяется в интервале 4,8-18,9. Выделены три группы соотношений, различающие почвы по степени выветрелости и изменяющихся с высотой местности.

Так, в почвах горной тайги, до высоты 590 м н.у.м. (бурозёмы, глеезёмы) $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ варьирует в диапазоне 5,5-7,7. Почвы, сопряженные с интервалом $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 > 5,5$, обладают меньшей способностью к катионному обмену, чем почвы с интервалом $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 3,5-5,5$, за счет меньшей

дисперсности. Для почв интервала $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 > 5,5$ характерными минералами являются гидрослюды и в меньшей мере монтмориллонит.

На границе паркового редколесья и луговых полян, (600-700 м н.у.м., серогумусовые, бурозёмы) значения $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ сужаются до 4,8-5,4. В этих почвах особенно выражены «глинные» свойства: богаты илом, имеют высокую емкость катионного поглощения, способны к насыщению влагой [1]. Низкие значения $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ указывают на более глубокую стадию выветривания (аллитную). Таким образом, на этом рубеже высот, почвы являются более зрелыми, имеющие больший возраст. В почвах на высоте 700-760 м н.у.м. $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ составляет более 12 в верхних 22 см профиля (13,7-18,9). Наибольшие значения характерны для подзолов, что соответствует опесчаненной фазе минеральных преобразований в почве. Ниже подзолистого горизонта расположен альфегумусовый, в котором значения $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ соответствуют сиаллитной ненасыщенной фазе минеральных преобразований (9,3). Таким образом, профиль разделен на две разнокачественных части, различающиеся по фазам минеральных преобразований. Выше 760 м н.у.м. (бурозем ожелезненный, дерново-подбур) значения $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ сужаются до 6,3-8,6, что указывает на сиаллитную ненасыщенную фазу минеральных преобразований в почвах.

Таким образом, в пределах хребта происходит смена фаз минеральных преобразований в почвах (сверху вниз): сиаллитная ненасыщенная (> 760 м, преобладание гидрослюд, монтмориллонита) → опесчаненная (760-700 м, кварц, каолинит) → глинная (700-600 м, значительное преобладание монтмориллонита над гидрослюдами) → сиалитная ненасыщенная (< 600 м н.у.м., преобладание гидрослюд, монтмориллонита). Итак, на высоте 600-700 и 700-760 м расположены почвы, прошедшие больше фаз минеральных преобразований, которые стадийно связаны между собой. Конечной фазой преобразования почв является опесчаненная [1].

Выявлен природный рубеж проявления неоднородности: в почвах на высоте >700 м преобладает физическое выветривание и высокое содержание обломков, а в почвах формирующихся < 700 м н.у.м. – процессы химического выветривания с разной проработанностью минерального состава почв. Определен ряд типов почв по усилению химического изменения и степени выветрелости: подзол $<$ серогумусовая $<$ бурозём глинисто-иллювирированный и элювирированный $<$ глеезём $<$ бурозём глееватый $<$ дерново-подбур $<$ бурозем грубогумусированный $<$ бурозём ожелезненный. Итак, в подзоле в большей степени проявляется физическое выветривание минеральной части почвы, чем химическое, а в бурозёме ожелезненном, напротив, наблюдаем обратное.

Литература

1. Волобуев В. Р. Система почв мира. Академия наук Азербайджанской ССР. Институт почвоведения и агрохимии. Баку: Издательство «Элм», 1973. 308 с.
2. Полевой определитель почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
3. Самофалова И.А. Геомоделирование почвенного покрова на основе обобщённого пространственного анализа территории заповедника «Басеги» (Средний Урал) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Межд. конф. М.: Издательство МГУ, 2020. Т. 26. Ч. 4. С. 131–146. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-110-120.
4. Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А. Использование группового состава соединений железа для диагностики горных почв Среднего Урала // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. № 79. С. 111-136.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ИЗ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Сохорова З.В., Манжикова А.В., Сангаджиева О.С., Сангаджиева Л.Х., Бембеев С.Б.

Калмыцкий государственный университет им.Б.Б. Городовикова, Россия, Элиста,
e-mail: chalga_ls@mail.ru

Загрязнение водной среды, наряду с дефицитом пресной воды, является глобальной экологической проблемой [1, 2, 5]. В водоемах увеличивается содержание веществ антропогенного

происхождения, токсичность которых для большинства водных организмов проявляется уже в малых концентрациях. Высшим водным растениям отводится ведущая роль в регуляции потоков углерода, растворимых минеральных веществ и кислорода в пресноводных экосистемах. К настоящему времени доказано участие водных растений в процессах очищения водоемов, загрязненных тяжелыми металлами (ТМ), нефтепродуктами, пестицидами, минеральными и органическими удобрениями. Существенную роль в самоочищении пресноводных водоемов играют также и растительно-микробные ассоциации прибрежной мелководной зоны.

Черноземельская оросительная система (ЧОС) берет свое начало из Чограйского водохранилища, которое подпитывается из вод рек Кубани и Терека. Чограйское водохранилище в последние годы значительно уменьшилось. На территории водоохранной зоны канала ЧОС контроль за качеством вод не осуществляется. Вдоль русла канала расположены более десятка населенных пунктов, которые используют воду канала для питьевых целей людей и скота, для орошения, для технических целей. Развитие хозяйственной деятельности в бассейне канала привело к значительным изменениям характеристик воды Чограйского водохранилища.

Наибольшую экологическую опасность представляют тяжелые металлы [2]. Установлено, что даже эссенциальные элементы, такие как медь, никель, цинк, кобальт, при накоплении в водной среде являются потенциальной угрозой для живых систем [1, 2, 3, 4]. Они способны нарушать целостность физиологических и биохимических процессов, вызывать серьезные изменения в метаболических реакциях у гидробионтов [1, 3, 5]. Известно, что разные группы и отдельные виды гидробионтов способны накапливать и концентрировать химические элементы, находящиеся в среде их обитания в ничтожных количествах [3, 4, 5].

Цель работы – выявление влияния антропогенного загрязнения воды канала Черноземельской оросительной системы на аккумуляцию тяжелых металлов в биомассе высших водных растений. Для решения поставленной цели поставлены задачи: проанализировать содержание 20 тяжелых металлов и металлоидов в воде, взвеси и донных отложениях канала ЧОС; выявить особенности аккумуляции металлов различными видами водных и околоводных растений; рассмотреть возможность использования водных и околоводных растений в качестве кормов.

Определение валового содержания ТМ в гидробионтах проводят в аналитическом сертифицированном аналитическом центре с использованием современных методов анализа: атомно-абсорбционная спектрометрия, масс-спектрометрия, потенциометрия.

Содержание ТМ в водных организмах, в частности в растениях, используется для адекватной оценки загрязнения водных объектов и миграции металлов по трофическим цепям в водоемах, где высшие растения (макрофиты) представляют продуценты. Заросли макрофитов способны в процессе роста и развития поглощать концентрировать и переводить в хелатные формы химические элементы, тем самым снижая концентрации токсичных металлов в водоеме и улучшая качество воды. Сотрудниками кафедры химии КалмГУ ежегодно, в течение последних 12 лет, проводятся сезонные наблюдения, отбираются пробы воды, в которых определяют содержание общую минерализацию, рН и ионы - Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl, Fe, NH₃, NO₃, NO₂, PO₄ [4]. Весной и летом уровень воды в канале падает и химический состав воды ухудшается.

Большая часть исследованных элементов присутствовала в воде канала, как в растворе, так и в составе взвесей в виде органических и минеральных соединений. Как показали результаты исследований, содержание ТМ в воде в растворенной форме низкое и не превышает ПДК. Более высокое содержание ТМ отмечено во взвеси и донных отложениях (Cr, Co, Ni, Cu). Десорбцию этих элементов (переход из взвеси в раствор) летом сдерживает щелочная реакция воды, рН менялся по каналу от 7,72 до 8,93. Распределение ТМ по акватории канала дифференцировано.

Расчет коэффициентов биологического накопления исследованных элементов для фитопланктона позволил выявить особенности их аккумуляции и построить ряд бионакопления. Содержание ТМ, мг/кг сухой массы, в высшей водной растительности менялось в зависимости от вида растений и микроэлемента: в тростнике, рогозе и роголистнике повышено содержание Cd, Cu, Zn, As. Коэффициенты накопления ТМ растениями также значительно варьировала для отдельных элементов и видов растений. Наиболее высокие коэффициенты накопления характерны для кувшинки, рогоза. Повышенное загрязнение вод в районе поселков приводит к снижению

видового разнообразия, изменению численности и биомассы доминирующих видов гидробионтов, а иногда и их качественного состава. Воздействие антропогенной нагрузки на фитопланктон ЧОС выразилось в снижении роли доминирующих видов доли диатомовых и динофлагеллят при возрастании роли зеленых и сине-зеленых водорослей, доля снижения достигает 2-8 %, а доля возрастания с 0 до 9 %.

Выводы. Результаты исследования указывают на то, что содержание большинства изученных макрофитов Черноземельской оросительной системы по некоторым металлам имеют более высокие значения, по сравнению с видами высших водных растений некоторых российских водоемов, но выявленное превышение концентраций носит сезонный характер.

Наименьшая изменчивость характерна для металлов группы макроэлементов (К, Na, Ca, Mg), наибольшая среди тяжелых металлов – особенно для Cd. При этом макроэлементный состав более видеоспецифичен, чем микроэлементный, на который существенное воздействие оказывают внешние факторы. По содержанию питательных веществ водных и околородных растений возможно использование их в качестве кормов.

Литература

1. Моисеенко Т.И. Антропогенная изменчивость пресноводных экосистем и критерии оценки качества вод// Актуальные проблемы водной токсикологии (сб. статей), 2004. С.34-38.
2. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах, Л.: Гидрометеоиздат. 1991. 311 с.
- Сангаджиева Л.Х. 2004 Сангаджиева Л.Х. Микроэлементы в почвах Калмыкии и биогеохимическое районирование ее территории// Монография. Элиста. АПП Джангр, 2004. -115 с.
3. Сохорова З.В., Бамбаева Е.Н., Самтанова Д.Э., Джабруева Л.В., Сангаджиева Л.Х., Слизская С.А. Биогеохимическая активность кормовых растений по отношению к тяжелым металлам // Естественные и технические науки. 2023, №1, С. 78-84.
4. Тихомирова В.В., Смирнова П.С. Загрязнение поверхностных и сточных вод Российской Федерации тяжелыми металлами // Международный научно-исследовательский журнал. 2022, №10 (124), С.55-62.
5. Юхименко Л.Н., А. А. Дружинина А.А., Паршуков А.Н. Экологическая ситуация на естественных водоемах Брянской и Белгородской областей // Вестник рыбохозяйственной науки. 2016, Т.3, №2 (10), С.86-91.

ПОЧВЫ ОКОЛО МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ «ЧОЙГАН» (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

¹Санчай-оол Б. В., ²Максимова Е.Н., ^{1,2}Лопатовская О.Г.

¹ Тувинский государственный университет,
Республика Тыва, 667000, г. Кызыл, ул. Монгуш Сата 9

² Иркутский государственный университет,
664011, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5; bele.san@mail.ru

Географическое положение Республики Тыва определило наличие разных по составу водных объектов – солёных, грязевых и пресных озёр, минеральных и пресных водных источников. Здесь встречаются почти все типы минеральных вод: углекислые и азотные термы, углекислые и сероводородные холодные источники, кислые воды, радоновые, железистые и т.д. Геохимическое районирование водных источников Тувы было проведено ещё в середине прошлого века [2]. Подземные воды, циркулируя в толще горных пород, насыщаются газами, солями и микроэлементами, входящими в состав водоносного горизонта. В зонах тектонических разломов подземные воды изливаются на дневную поверхность, образуя минеральные источники. Описанные минеральные источники находятся в юго-западной части Восточного Саяна, в долине реки Аржан-Хем.

Почвы приурочены к уникальным гидрогеологическим проявлениям, формирующим особый микроклимат и своеобразие биоценозов, которые в совокупности определяют физико-хи-

химические особенности этих почв. Большой научный и практический интерес могут представлять работы по изучению процессов миграции, трансформации и накоплению макро- и микроэлементов, содержащихся в воде термоминеральных источников, их влияния на природные экосистемы.

Почти все исследованные почвы недавно сформированы на травертинах. Верхние горизонты перегнойные, слаборазложённые, сохраняющие внешний вид растений, грубогумусные. Травертины пронизаны синезелеными водорослями. Возможно, этим и объясняется довольно высокое содержание в них органического вещества: от 1,2 до 23,7 %. В грансоставе мелкозема преобладают фракции песка и крупной пыли.

Реакция почв от нейтральной до щелочной (рН 6,7 – 8,4). Содержание гумуса в почвах в пределах 2,9–7,4 (15) %, последнее соответствует содержанию органического вещества в перегнойных горизонтах некоторых типичных для региона почв. Это можно объяснить присутствием водорослей и микроорганизмов, которые обнаружены как на поверхности, так и в толще травертинов. Содержание CO_2 карбонатов составляет от 6,5 до 66,5 %. При этом, отмечается их плавное увеличение с глубиной, что объясняется близким залеганием карбонатных пород (известняки, доломиты, травертины).

В различных элементах рельефа и геохимического ландшафта, где выходят на поверхность минеральные источники, проявляются сходные или различные условия для формирования почв. В процессе почвообразования химические вещества либо накапливаются в почвенном профиле, либо мигрируют, а затем аккумулируются в пониженных частях рельефа. В условиях горного рельефа вследствие движения склоновых и грунтовых вод происходит миграция веществ в сопряженных геохимических ландшафтах.

Курорт Чойган насчитывает около 30 грифонов. Нами были исследовано всего восемь источников. Температура воды в источниках колеблется от 14,0 до 39,5 °С, рН изменяется от 6,4 до 6,9. Воды в основном гидрокарбонатные магниевые-кальциевые-натриевые с минерализацией от 1,2 до 1,6 г/л [3]. Такой химический состав обусловлен интенсивным водообменом.

Источники «Сухой женский» и «Газовая ванна» расположены на правом берегу р. Аржан-Хем, в углублении (воронке) диаметром 3 м, глубиной 1,5–2,0 м. В дождливые периоды года он заполнен водой молочного цвета. Из почвы на поверхность воды поступают пузырьки газа, что способствует постоянному перемешиванию воды. Сумма солей до 1 %. Засоление почвы хлоридно-сульфатное натриево-кальциевое. Почва около источника представляет собой примитивную почву – карбо-петрозем.

Источник «Молодость» расположен на правом берегу р. Аржан-Хем. По химизму воды относятся к гидрокарбонатным натриево-магниевым-кальциевым. Температура воды в источнике 14 °С, рН 6,9. В анионно-катионном составе почв около источника присутствуют гидрокарбонаты, хлориды и сульфаты кальция и натрия.

Источник «Горячая ванна» расположен на правом берегу р. Аржан-Хем. По химическому составу вода источника относится к гидрокарбонатной кальциево-натриевой с минерализацией 1,2 г/л. Температура воды 39,5 °С, рН 6,7. Засоление почв хлоридно-сульфатное натриево-кальциевое. Концентрация солей увеличивается по мере удаления от источника до 3,7 %.

Источник «Детская баня» Химический состав воды – гидрокарбонатный кальциево-натриевый, минерализация – 1,0 г/л, рН воды 6,4, температура – 30 °С. рН почв уменьшается по мере удаления от источника от 8,2 до 7,8. Сумма солей в почвах 0,1 %.

Источник «Радоновый». Вода источника хлоридно-гидрокарбонатная магниевые-натриевые. Засоление почвы слабое, сульфатное магниевые-кальциевые, рН 7,4.

Источник «Желудочный» расположен на левом берегу р. Аржан-Хем. Он представляет собой небольшое углубление в травертине, заполненное водой. Воды гидрокарбонатные кальциево-натриевые с минерализацией 1,2 г/л, температура 30 °С.

Почвы имеют короткий почвенный профиль. Нами они были отнесены к карбо-петроземам. Свойства почв зависят от удаленности их от источника, особенностей ландшафта, растительности, биоклиматических условий, гидрохимических показателей, различной минерализации и химизма грунтовых вод.

Почвы, формирующиеся около грифона источника в большей степени подвержены влиянию минеральной воды источника, нежели почвы, удаленные. В первом случае они, как правило, гидроморфные, маломощные, щебнистые и формируются на травертинах. Мощность травертинов иногда достигает 1,5–2 м. В процессе формирования карбо-петроземов главную роль играют карбонатные почвообразующие породы – кальциты и мрамора. На кислых породах формируются буроземы [1].

По значениям рН почвы изменяются от слабокислых до щелочных. Верхние горизонты карбо-петроземов около источников перегнойные, на расстоянии 20 м – менее гумусированные, чем у буроземов на расстоянии 50 м и более. Несмотря на повышенную минерализацию вод источников (до 1,6 г/л), почвы не засолены, что объясняется их хорошей дренированностью и большим количеством атмосферных осадков.

Литература

1. Классификация и диагностика почв России / авт. и сост.: Л.И. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
2. Ломоносов И.С. Минеральные воды Прибайкалья. / И.С. Ломоносов, Ю.И. Кустов, Е.В. Пиннекер. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1977. – 224 с.
3. Резников А.А. Методы анализа природных вод / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю. Соколова. 3-е изд., перераб. и доп. Москва.: Недра, 1970. – 488 с.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПОБЕГОВ ГОРОХА, ВЫРАЩЕННЫХ НА ДВУХ ТИПАХ ПОЧВ, ИСКУССТВЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СВИНЦОМ

Сиголаева Т.Е., Иванищев В.В., Переломов Л.В., Большеченко А.А.

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,
г. Тула, Россия, пр. Ленина, 125, e-mail: tatyana.sigolaeva@yandex.ru

Тяжёлые металлы (ТМ) в жизнедеятельности организмов выполняют ряд важных функций, и в малых концентрациях необходимы для живых организмов. Повышение содержания ТМ выше ПДК обеспечивает токсические эффекты, которые проявляются в подавлении роста и развития растений, а также в общей трофической системе: почва – растение – животное – человек [1]. Известно, что водорастворимые соединения металлов, попадая в почву, образуют прочные соединения с ее структурными компонентами [1]. Способность растворимых солей металлов поглощаться растениями из почвы и проникать в живые ткани, накапливаться и взаимодействовать с внутриклеточными компонентами приводят к разным проявлениям токсичности. Одним из наиболее известных представителей группы металлов, не выполняющих (как представляется сегодня) физиолого-биохимических функций, является свинец. На данный момент отсутствуют сведения о том, что свинец имеет хоть какое-то биологическое значение в процессах, протекающих в живых организмах, в том числе растениях, но тем не менее, повышенное содержание этого металла в среде приводит к появлению как положительных, так и негативных эффектов морфологического, физиологического и биохимического характера [2].

В связи с этим вызывает интерес изучение вопросов об особенностях влияния широкого диапазона концентраций тяжелых металлов на свойства разных типов почвы, а также особенностей формирования проростков высших растений в условиях такого эксперимента.

Вначале эксперимента было установлено, что разные типы почвы, которые были использованы нами в исследовании (дерново-подзолистая и выщелоченный чернозем) по-разному влияли на формирование растений гороха. Такие различия могли быть обусловлены физико-химическими свойствами указанных типов почв, которые включают особенности гранулометрического состава, величину буферной емкости и рН, а также содержание органического вещества (гумуса) и пр. В связи с полученными данными представляло интерес выявить степень такого влияния на формирование растений в условиях загрязнения одинаковым количеством экзогенного металла.

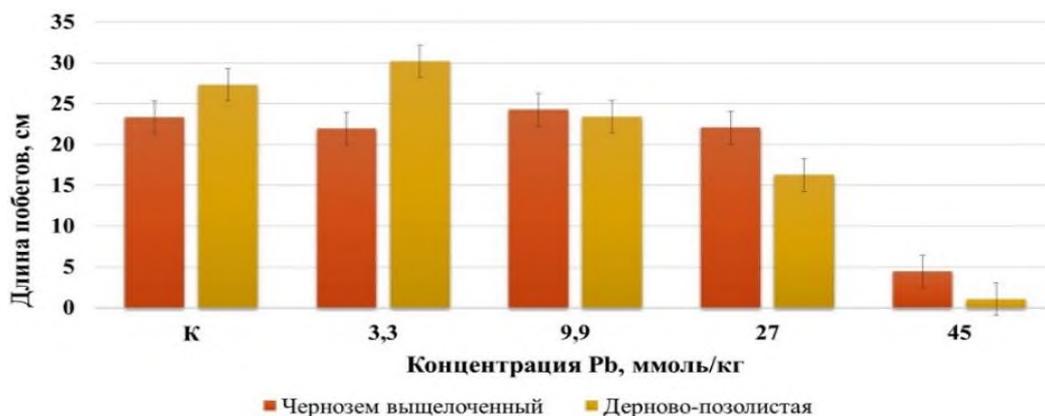


Рис. 1. Изменение длины побегов гороха возрастом 21 день в зависимости от концентрации свинца в исследуемых типах почв (К - контроль), см

Объектом исследования служили проростки гороха посевного (*Pisum sativum L.*) сорта «Рокет». Растения выращивали в течение 21 дня в сосудах с дерново-подзолистой почвой и выщелоченным черноземом. В сосуды помещали 300 г соответствующей почвы и вносили раствор нитрата свинца в количестве 3,3 ммоль/кг, 9,9 ммоль/кг, 27 ммоль/кг и 45 ммоль/кг почвы. В контрольные образцы почвы добавляли раствор нитрата калия в минимальной концентрации 3,3 ммоль/кг. Почву с металлом инкубировали в течение 14 дней, после чего в них сеяли семена в количестве 10 штук на один сосуд [3]. Эксперименты проведены в трех биологических повторностях. Результаты экспериментов обработаны статистически.

На начальном этапе эксперимента изучали особенности динамики длины побегов. В течение 21 дня вегетации проростков с периодичностью раз в 7 дней проводили соответствующие замеры.

Исследование динамики роста растений гороха показало, что она различалась в присутствии изученных концентраций соли в черноземе. Если на 7 день развития при двух первых концентрациях соли в почве длина проростков опережала контрольный вариант, то к второму измерению различия величин контрольного варианта и трех первых концентраций различались недостоверно. К 21 дню роста достоверные различия с контролем наблюдались только для наиболее высокой концентрации соли в черноземе (рис.). При этом снижение при концентрации свинца 45 ммоль/кг составило 80,2% по сравнению с контролем.

При постановке аналогичного эксперимента с дерново-подзолистой почвой динамика роста была иной. Так, при первом измерении снижение наблюдали при трех концентрациях соли свинца (9,9; 27 и 45 ммоль/кг). На 14 день минимальная концентрация 3,3 ммоль/кг оказывала положительный эффект (+26% против контроля), в то время как другие концентрации соли оказывали ингибирующий эффект и тем больший, чем выше была концентрация соли свинца в почве. На 21 день развития картина сохранилась (рис. 1). При этом при наибольшей в эксперименте концентрации соли свинца в 45 ммоль/кг ингибирующий эффект составлял 95,5% по сравнению с контролем.

Таким образом, подводя итоги исследованию, необходимо отметить, что свойства почвы оказывали совершенно разный эффект на формирование проростков гороха. Поскольку чернозем характеризуется большей емкостью для сорбции свинца в изученном диапазоне концентраций соли свинца (данные не приводятся), становятся понятными результаты по достоверному отличию результатов с контролем только при наиболее высокой концентрации соли в почве. В то же время остается неясной активация ростовых процессов при минимальной концентрации нитрата свинца (3,3 ммоль/кг) в дерново-подзолистой почве.

Литература

1. Демиденко Г.А. Влияние свинца на рост и развитие семян и проростков гороха овощного // Вестник КрасГАУ. - 2019. - № 4. - С.16-23
2. Иванищев В.В., Сиголаева Т.Е., Переломов Л.В. Влияние загрязнения почв свинцом на растения // Агрехимия. – 2024. – № 6. – С. 90-96.

3. Сиголаева Т.Е., Переломов Л.В., Иванищев В.В. Влияние различных концентраций тяжелых металлов на биометрические и биохимические показатели проростков пшеницы (*Triticum aestivum L.*) // Проблемы загрязнения объектов окружающей среды тяжелыми металлами. Труды международной конференции. - Тула, 2022. - С. 283-286.

К ВОПРОСУ О БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ

Фомичева Н.В., Смирнова Ю.Д., Соловьев Д.А.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, nvfomi@mail.ru

Биоремедиация является наиболее эффективным и экологически чистым способом восстановления загрязненных нефтью почв. В этом случае, как правило, применяют различные биопрепараты, содержащие специализированные штаммы- нефтеструкторы. Известен опыт внесения гуминовых препаратов, органических удобрений, используют также комплексную технологию биоремедиации [3].

Во Всероссийском научно-исследовательском институте мелиорированных земель (филиале ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева») разработаны гуминовый препарат БоГум (патент РФ № 2691693) и компост многоцелевого назначения КМН (патент РФ № 2598041). Целью данной работы было изучение возможностей использования разработанных препаратов для биоремедиации дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, загрязненной сырой нефтью в дозе 5%.

Эксперимент с гуминовым препаратом БоГум. Известно [1], что гуминовые вещества, вносимые в нефтезагрязненные почвы в диапазоне минимальных концентраций от 0,1 до 0,8 г/л, способны обеспечивать стимулирующий эффект для аборигенной микрофлоры, в диапазоне от 1 до 9 г/л – являться источником биофильных элементов, а в диапазоне концентраций от 10 до 60 г/л – выступать в качестве сорбентов. В гуминовом препарате БоГум содержание гуминовых кислот (ГК) составляет 13 г/л. Следовательно, при разбавлении 1:100 (ГК 0,13 г/л) его можно использовать для стимулирования аборигенной микрофлоры, при разбавлении 1:10 (ГК 1,3 г/л) – в качестве источника биофильных элементов, а в исходном виде (ГК 13 г/л) – как сорбент.

Почву увлажняли до 70% ППВ, раскладывали по 1 кг в пластиковые контейнеры и загрязняли сырой нефтью в дозе 5_{масс.}%. Спустя 3 сут. в контейнеры вносили по 10 см³ (из расчета 30 м³/га) гуминового препарата БоГум разной степени разведения (табл.). Через неделю препарат вносили повторно. Модельный эксперимент был заложен в 3-кратной повторности и продолжался 2 месяца. Образцы инкубировали в условиях оранжереи при температуре 20-23°C и периодически увлажняли дистиллированной водой, поддерживая влажность почвы в пределах 40-80% ППВ.

Спустя две недели с начала эксперимента во всех нефтезагрязненных образцах почвы наблюдалось увеличение численности исследуемых микроорганизмов по сравнению с контролем ЧК. При этом, с увеличением дозы гуминовых кислот в препарате увеличивался и отклик почвенной микрофлоры. В то же время, в варианте БоГум3 степень разложения нефти была наименьшей (табл. 1).

Через 1 месяц после начала эксперимента, в варианте БоГум1 наблюдалось существенное увеличение численности всех видов микроорганизмов (в 1,3-2,3 раза по сравнению с контролем К), а при его максимальной дозировке (БоГум3) численность микрофлоры превышала контрольный уровень в 3-5 раз.

В конце наблюдений, максимальный уровень разложения нефтяных углеводородов (40,1%) наблюдался в варианте с применением БоГум1, а с увеличением концентрации применяемого препарата, степень деструкции нефти достоверно снижалась. Вероятнее всего, при исследовании БоГум3 (в роли сорбента) гуминовые вещества препарата использовались почвенной микрофлорой в качестве более доступного источника питания, а нефтяные углеводороды вследствие сорбции были малодоступны для микроорганизмов, в результате чего степень деструкции нефти по итогам модельного эксперимента оказалась наименьшей - 32,8 %.

Таблица 1. Количество почвенных микроорганизмов в почве и степень деструкции нефти через две недели от начала эксперимента

Вариант опыта	Концентрация ГК, г/л	Шифр	Численность микроорганизмов, (10 ⁶ КОЕ/г)*				Деструкция нефти, %
			Гетеротрофные	Углеводород-окисляющие	Использующие минеральный азот	Микромицеты	
Чистая почва		ЧК	5,6±0,2 ^a	0,1±0,01 ^a	2,6±0,2 ^a	0,0021±0,0010 ^a	-
Почва+нефть		К	6,4±0,2 ^{ab}	3,3±0,1 ^b	15,6±0,7 ^b	0,0028±0,0020 ^{bc}	6,9±0,2 ^a
Почва+нефть+ БоГум1	0,13	БоГум1	8,1±0,2 ^{ab}	6,0±0,4 ^c	28,2±1,7 ^c	0,0079±0,0020 ^{ef}	23,2±1,1 ^{cd}
Почва+нефть+ БоГум 2	1,30	БоГум2	11,7±0,7 ^c	9,1±0,5 ^d	37,9±1,3 ^{de}	0,0077±0,0020 ^{de}	25,4±0,4 ^d
Почва+нефть+ БоГум3	13,0	БоГум3	28,2±1,4 ^c	12,9±0,6 ^e	71,1±2,4 ^e	0,0157±0,0040 ^e	19,3±0,5 ^b

*Примечание: численность микроорганизмов определяли методом предельных разведений с посевом на твердые питательные среды: гетеротрофные микроорганизмы - на мясоептонном агаре; использующие минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре; углеводородокисляющие микроорганизмы – на среде Придхэм-Готтлиба, где в качестве источника углерода использовалась сырая нефть в концентрации 1 %; микромицеты – на сусло-агаре.

Эксперимент с КМН. Характеристика КМН: влажность – 60 %; общее микробное число (ОМЧ) – 2×10^8 КОЕ/г; N_{общ} – 2,45% а.с.в.; P₂O₅ – 2,26% а.с.в.; K₂O – 1,93% а.с.в.; С – 21,5%; рН_{KCl} – 6,08. КМН вносили в двух дозах: 50 г/кг почвы (150 т/га – из расчета соотношения КМН:нефть = 1:1) и 100 г/кг почвы (300 т/га – по аналогии с нормой внесения известного суперкомпоста «Пикса», используемого, в том числе, для очистки и восстановления почвы от нефтезагрязнений [2]). Длительность модельного эксперимента – 4 месяца.

Процесс получения КМН изначально не был ориентирован на использование его для биоремедиации. Однако состав компоста представлен разнообразной микрофлорой, в частности, гетеротрофами, микромицетами, актиномицетами и др. Поэтому при внесении КМН в нефтезагрязненную почву микроорганизмы адаптировались к внешним условиям и усиленно развивались, используя нефть в качестве основного источника углерода. При этом, суммарная численность гетеротрофных, углеводород-окисляющих, использующих минеральный азот микроорганизмов и микромицетов спустя 2 недели от начала эксперимента в варианте с внесением КМН 50 г/кг почвы составила $7,4 \times 10^8$ КОЕ/г, а при дозе КМН 100 г/кг почвы – $10,1 \times 10^8$ КОЕ/г против $0,7 \times 10^8$ КОЕ/г в контрольном варианте с нефтью. Далее суммарная численность указанных микроорганизмов постепенно увеличивалась и через 4 месяца соответственно составила $9,1 \times 10^8$ КОЕ/г и $15,8 \times 10^8$ КОЕ/г по сравнению с $0,6 \times 10^8$ КОЕ/г в контроле.

Активное развитие микроорганизмов способствовало интенсивной деградации нефти: через месяц от начала эксперимента степень деструкции составила 32,4 % при использовании меньшей дозы КМН и 33,5 % - при большей; а в конце эксперимента соответственно 45,8 % и 63,7 % по сравнению с 17,3 % в контрольном варианте.

Таким образом, по результатам проведенных модельных экспериментов установлено, что гуминовый препарат БоГум (разведение 1:100, доза 30 м³/га) и органическое удобрение КМН в дозе 300 т/га можно рекомендовать к использованию для биоремедиации нефтезагрязненных почв, поскольку в первом случае обеспечена деструкция нефти на 40,1 % за 2 месяца, во втором – на 63,7 % за 4 месяца.

Литература

1. Каримова В.Т., Дмитриева Е.Д., Нечаева И.А. Влияние гуминовых веществ торфов Тульской области на рост микроорганизмов деструкторов нефти *Rhodococcus Erythropolis S67* и *Rhodococcus Erythropolis X5* // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2017. Вып. 2. С. 60–68.

2. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б., Лушников С.В. И др. Прикладная экобиотехнология: учебное пособие: в 2 т. Т. 1. М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2012. – 629 с.
3. Vasilyeva G.K., Strijakova E.R., Ortega-Calvo J.J. Remediation of Soils Polluted by Oil Industries / Soil Remediation Science and Technology, 2024. Pp.191-237. DOI 10.1007/698_2024_1080

ПРИМЕНЕНИЕ СТИМУЛИРУЮЩИХ РОСТ РАСТЕНИЙ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МЕДЬЮ

Шабаев В.П., Остроумов В.Е., Волокитин М.П.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино
VPSH@rambler.ru

Интенсивное ведение сельского хозяйства и другая антропогенная деятельность приводят к загрязнению почв тяжелыми металлами (ТМ) [1]. Cu, являясь биологически значимым и необходимым элементом для растений, в повышенных концентрациях вызывает физиологические и биохимические нарушения в растениях и замедляет их рост. Для ремедиации почв, загрязненных ТМ, исследуются стимулирующие рост растений ризосферные бактерии (plant growth-promoting rhizobacteria) (PGPR) [2, 3]. Представители PGPR рода *Pseudomonas* существенно уменьшают фитотоксичность ТМ [2]. Несмотря, на имеющиеся данные [2–3] о значительной стимуляции под влиянием PGPR роста загрязненных ТМ растений, исследований растительных и, в особенности, почвенных механизмов этого процесса проведено недостаточно.

Применение стимулирующих рост растений ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* значительно уменьшило токсическое действие на растения яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата искусственного загрязнения нитратом меди гумусового горизонта агросерой почвы в вегетационном опыте (табл. 1). Положительное действие бактерий было связано с увеличением накопления меди в корнях – усилением барьерной способности корневой системы. Бактерии, кроме того, увеличили поглощение меди вегетативными органами инокулированных растений – усилили фитоэкстракцию.

Применение бактерий увеличило устойчивость растений к загрязнению медью также вследствие улучшения минерального питания растений, увеличивая вынос ими из загрязненной почвы N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn и Zn, без существенных изменений содержания в биомассе большинства исследованных элементов (табл. 2). Увеличение выноса Cu вегетативной массой растений – усиление фитоэкстракции, под влиянием бактерий в настоящих исследованиях происходило без значимых изменений реакции почвенной среды и, вероятно, было обусловлено продуцированием бактериями органических экзосметаболитов – сидерофоров, свойственным флуоресцирующим видам *Pseudomonas* [3].

Таблица 1. Масса растений и поглощение Cu растениями в фазе трубкования

Вариант	Масса растений, г/сосуд			Поглощение Cu растениями, мкг/сосуд	
	листья и стебли	корни	сумма	листья и стебли	корни
Без внесения Cu и бактерий	2.65	0.61	3.26	29	15
Cu без внесения бактерий	2.01	0.41	2.42	30	164
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	2.32	0.50	2.82	35	263
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	2.28	0.49	2.77	39	255
Cu + <i>P. putida</i> 23	2.33	0.51	2.84	35	259
HCP ₀₅	0.26	0.08	0.34	4	31

Таблица 2. Вынос питательных элементов вегетативной массой растений в фазе трубкования

Вариант	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	мг/сосуд				мкг/сосуд			
вегетативная масса								
Без Cu и внесения бактерий	112	14	100	24	715	300	143	88
Cu без внесения бактерий	78	8	90	25	522	213	115	52
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	93	9	115	28	626	260	132	58
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	96	10	114	28	638	251	132	64
Cu + <i>P. putida</i> 23	94	9	113	28	629	245	126	58
HCP ₀₅	12	1	20	3	89	30	10	6

Таблица 3. Фракционный состав соединений Cu в почве в фазе трубкования растений

Вариант	Фракции Cu в почве		
	водорастворимая	обменная	специфически сорбированная
Cu без внесения бактерий	0.6	0.7	26.0
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	0.9	0.5	37.8
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	0.9	0.4	36.1
Cu + <i>P. putida</i> 23	0,9	0.4	37.0
	связанная с органическим веществом	связанная с железистыми минералами	остаточная
Cu без внесения бактерий	34.1	13.6	43.2
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	37.7	33.9	15.3
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	39.9	24.7	23.0
Cu + <i>P. putida</i> 23	44.0	18.7	24.6

Примечание. % от внесенного количества. Ошибки определений содержания Cu <15%.

Бактерии оказали влияние на подвижность меди в почве, увеличивая нахождение элемента, главным образом, в составе специфически сорбированной, связанной с карбонатами, и железистых минералов фракциях, в меньшей мере, во фракции, связанной с органическим веществом поэтому происходило уменьшение металла в остаточной фракции, прочно связанной с глинистыми минералами при определении методом последовательных селективных экстракций (табл. 3).

Таким образом, применение данных бактерий может быть рекомендовано при разработке способов ремедиации загрязненных медью почв.

Литература

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва–растение / Новосибирск: СО РАН. 2012. 220 с.
2. Dorjey S., Dolkar D., Sharma R. Plant growth promoting rhizobacteria *Pseudomonas*: A review // Int. J. Current Microbiol. Appl. Sci. 2017. V. 6. № 7. P. 1335–1344. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.160>
3. Dutta P., Muthukrishnan G., Sabarinathan K.G. KG., et al. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and its mechanisms against plant diseases for sustainable agriculture and better productivity // Biocel. 2022. V. 46. № 8. P. 1843–1859. <https://doi.org/10.32604/biocell.2022.019291>

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Швецов С. Г.

Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского Отделения Российской Академии Наук, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, sv833890@gmail.com

Биогеохимическое поведение урана и тория (трансформация, миграция и аккумуляция с участием живого вещества) в наземных экосистемах определяется комплексным воздействием различных факторов: типом почвообразовательных процессов, составом и сорбционными свойствами почвы, физическим и химическим состоянием элемента, составом и строением фитоценозов, климатическими условиями [1, 2]. В настоящей работе изучались лесные экосистемы юго-западного Прибайкалья, расположенные в меридиональном южном направлении в 20-50 км от города Иркутска. Мы определяли состав и массу фитоценоза, типологию и физико-химические свойства почв, измеряли содержание валового и «подвижного» урана и тория в почвенных горизонтах, корнях, стволах и листьях древесных растений, в корневых и наземных частях покровных растений по методикам, описанным ранее [3]. При анализе полученных данных использовали расчетные показатели – коэффициент биологического поглощения (КБП) и торий-урановое отношение (Th/U). На обследуемых (пробных) участках были идентифицированы подзолистая почва, дерново-подбур, элювозем глеевый, бурозем карбонатный.

Наибольшее количество урана и тория содержали почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания массивных кристаллических пород: средняя концентрация в подзолистой почве – 4,8 мг/кг урана и 14,6 мг/кг тория, в дерново-подбуре оподзоленном – 5,1 мг/кг урана и 17,3 мг/кг тория, в дерново-элювоземе глеевом – 3,7 мг/кг урана и 12,0 мг/кг тория; наименьшее количество радионуклидов содержали почвы на продуктах выветривания кембрийских доломитов: в буроземе карбонатном – 2,02 мг/кг урана и 4,55 мг/кг тория. При этом доля «подвижной» (растворимой в 1 М HCl) формы урана составляла, в среднем, 3,0% от его валовой концентрации в почве, а соответствующий показатель для тория – 1,8%.

Интенсивность поглощения радионуклидов из почвы была невысокой: средняя концентрация урана в золе фитомассы была равна 0,23 мг/кг, тория – 0,35 мг/кг. Коэффициенты биологического поглощения (КБП) составляли, в среднем, 0,09 для урана и 0,06 для тория, что свидетельствует о большей доступности растениям урана, по сравнению с торием. Доступность содержащихся в почве исследуемых радионуклидов для растений (величина КБП) уменьшалась в ряду почв: подзолистая почва > дерново-подбур > дерново-элювозем глеевый > бурозем карбонатный, что было связано, по-видимому, с генетическими различиями в физико-химических свойствах почв. При этом отмечалась положительная корреляция величины КБП с увеличением кислотности почв, уменьшением содержания гумуса, ила и емкости ППК. Средняя величина Th/U составляла для почвообразующих пород 3,3, для почв – 2,9, для золы древесины – 2,1; при этом торий-урановые отношения «подвижных» форм в почве было около 1,6. Величина Th/U в разных видах растений незначительно изменялась от одного фитогеоценоза к другому и, в среднем, была около 1,4. Сравнение величин Th/U в почве и растениях, дает основание предполагать, что в поглощении урана и тория затрагивается их «подвижная» форма, а растения, в свою очередь, также участвуют в образовании и поддержании на определенном уровне этой формы элементов в почве.

Приведенные данные показывают, что уран был более подвижен в лесных экосистемах, чем торий. Характер изменения торий-уранового отношения в профиле исследуемых почв и растениях указывает на более активное перемещение урана в акропетальном направлении, по сравнению с торием. Можно сказать, что в результате вертикальной миграции в лесном фитогеоценозе наблюдалось относительное обогащение почвы и фитомассы ураном, по сравнению с торием. Оценка содержания радионуклидов в компонентах фитогеоценозов дала следующую картину их распределения: малоподвижная форма (валовое содержание) урана в почве составляла около 11 г/га; подвижная форма (растворимая в 1 М HCl) урана, способная к внутрпочвенной

миграции и поглощению растениями – около 360 мг/га; в растениях накапливалось 190 мг/га. Для тория те же показатели составляли 34,5 г/га, 650 мг/га и 347 мг/га, соответственно. Отложенные в фитомассе радионуклиды со временем могут вовлечены в миграцию в составе поверхностных вод; не исключена и воздушная их миграция в результате пожаров.

Литература

1. Рачкова Н. Г., Шуктомова И. И., Таскаев А. И. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория (обзор) // Почвоведение, 2010, № 6, с. 698–705.
2. Шапошникова Л.М. Основные факторы, влияющие на поглощение урана, радия и тория растениями // Вестник ИБ Коми КрО РАН, 2017. - № 3. - С. 49-57.
3. Швецов С.Г., Воронин В.И. Распределение урана и тория в почве и растениях Восточной Сибири (Иркутская область) // Журнал СФУ. Серия Биология 2019, Изд-во СФУ (Красноярск), Т. 12 № 1, С. 86-100.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА–РАСТЕНИЕ» НА ТЕРРИТОРИИ г. СЕВАСТОПОЛЯ

¹Ясенева Е.В., ²Евстафьева Е.В.

¹Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,
299001 г. Севастополь, ул. Героев Севастополя 7, eyaseneva@yandex.ru

²Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации им. И.М. Сеченова,
298600 г. Ялта, ул. Мухина 10/3, e.evstafeva@mail.ru

Из природных факторов, обуславливающих уровень валового содержания тяжелых металлов в почве, определяющими являются характер почвообразующей породы и тип почвообразования, приводящий к перераспределению металлов по профилю почв, их биогенной аккумуляции в гумусовых горизонтах. Помимо непосредственного определения валового содержания металлов в почве представление о степени техногенного воздействия на них может быть составлено в результате определения их содержания в листовом аппарате растений, который выступает в качестве своеобразного природного планшета, аккумулирующего загрязнение из сопутствующих геосферных оболочек, и отражающего интенсивность антропогенного воздействия на экосистемы. С целью оценки экологического состояния почв был выполнен анализ содержания и пространственное распределение тяжелых металлов в почве и листьях робинии ложноакациевой (*Robinia pseudoacacia*), широко представленной в городской флоре Севастополя.

Материал и методы исследования.

Почвенные образцы (101 проба) были отобраны в осенний период 2022 года и летом 2023 года: 87 образцов взяты с поверхностного слоя, а 14 – послойно с глубин 0 – 5 см, 5 – 10 см и 10 – 20 см массой менее 200 грамм. На этой же территории было собрано 52 пробы листьев и коры деревьев на примаргальных территориях в разных функциональных зонах. Методика отбора материала, его пробоподготовки и измерения соответствовали государственным стандартам.

Определение концентрации химических элементов, проведено на рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан МАКС-G». Интенсивность антропогенной нагрузки почвы оценивали по коэффициенту концентрации K_c . Для всей территории города в качестве фонового значения использовали содержание в коричневых почвах Гераклеяского полуострова [1].

Результаты

Во всех исследуемых почвенных профилях с глубиной не наблюдали резкого снижения суммарного показателя загрязнения, а в некоторых из них, наоборот, отмечено повышение. Это позволяет предположить, что на глубине 10-20 см лежат грунты, некогда находившиеся на поверхности и подвергавшиеся антропогенному воздействию, которое повлекло за собой загрязнение покрова, а в дальнейшем - перемешивание и погребение данного почвенного материала. Водородный

показатель во всех пробах выше 7, что говорит о щелочной среде. Как и в случае с суммарным показателем загрязнения, устойчивой тенденции к снижению или повышению этого показателя не выявлено. Полученные данные позволяют сделать предположение, что на глубине 20 см находятся насыпные или перемешанные грунты, или культурный слой, загрязненные тяжелыми металлами. Значение суммарного показателя загрязнения поверхностных слоев почв показало, что 80% проб (37 почвенных образцов) относятся к допустимой категории загрязнения. Источниками их поступления являются воздействие автотранспорта (Pb, Zn, Sb, Cd, Sn, Cu); сжигание топлива на ТЭС и угля для отопления жилых домов (Pb, Sb, Cd, Sr); сжигание и утилизация ТБО (Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Co, V, Ni). В поверхностных горизонтах городских почв наиболее активно накапливаются Sr_{3,98}, Pb_{3,97}, Zn_{1,3}. Мышьяк накапливается с такой же интенсивностью, что и в фоновой точке. Остальные металлы в среднем имеют значения вдвое меньше, чем в фоновой точке.

В зависимости от функциональных зон города концентрация элементов сильно изменялась: в промышленной зоне почвы были закономерно более загрязнены из-за выбросов объектов энергетики, мастерских, предприятий металлообработки (в большей степени привносят Cu, Zn, Cr, Ni, Mn, Pb). На существенную роль автотранспорта и свалок ТБО в загрязнении почв Севастополя указывает приуроченность ареалов концентраций Pb, Cu и Zn к местам скопления автотранспорта, а также несанкционированным свалкам строительного, технического и бытового мусора.

Для более детального изучения были отобраны 5 образцов почв с наиболее загрязненных территорий. Превышение, суммарного показателя загрязнения Zc в одной из точек было обусловлено высоким (в 10 раз) содержанием меди Cu. Высокие значения Zc в другой точке были обусловлены содержанием свинца Pb в слое 5-10 см (Kc = 10), стронция Sr (Kc = 9,8), As (Kc = 2,8), Pb (Kc = 9,1) в слое 10-20 см.

Пространственное распределение химических элементов, накапливающихся в листьях робинии ложноакациевой было еще более неоднородным и выразилось в виде высокой встречаемости аномальных значений отдельных химических элементов. Коэффициенты вариации свидетельствуют, что слабо дифференцированное распределение отмечено для Sr, Mn, Zn, Co ($0,33 < C_v < 0,99$), дифференцированное – для As ($C_v > 1,0$) и недифференцированное (однородное) – для Cu, Cr, Ti, Fe ($C_v < 0,33$). Неоднородность распределения элементов в листьях робинии ложноакациевой (*Robinia pseudoacacia*) указывает на наличие факторов, существенно искажающих фоновое распределение. Так, наибольшим уровнем накопления тяжелых металлов характеризовался Нахимовский район, в особенности селитебная и транспортная зона ул. Горпищенко, ул. Героев Севастополя, ул. Багрия, проспекта Победы. По всей видимости, в этом случае важную роль играет слабая проветриваемость территорий из-за близости высотной примыкающей застройки, а также режим работы автотранспорта (его частые остановки в связи с большим числом светофоров) (Ясенева, 2015). На основании рассчитанных коэффициентов концентрации элементов был построен геохимический ассоциативный ряд содержания элементов в листьях города Севастополя: $Cu_{11,72} > As_{4,15} > Sr_{1,40} > Mn_{0,52} > Cr_{0,34} > Zn_{0,31} > Ti_{0,16} > Fe_{0,12} > Co_{0,08}$. Для всех исследованных зон характерно накопление листьями растений Cu, Sr, Mn, As, Cr, Zn, Ti, Fe. Для транспортной зоны характерно накопление меди, марганца, стронция, мышьяка, цинка и железа; для промышленной зоны – хрома, цинка, титана; для селитебной зоны – марганца, железа; для рекреационной зоны – меди, марганца, стронция, титана и железа. Наибольшая разница в Kc в листьях растений между зонами отмечена у As и Zn, наименьшая – Sr. В целом, анализ статистических параметров содержания химических элементов в листьях показал, что на изучаемой территории наблюдается высокая степень неоднородности их распределения, что, вероятно, отражает разную степень поступления этих элементов в природные среды, обусловленную действием природно-техногенных факторов. Таким образом, индикаторная значимость листьев робинии ложноакациевой при оценке экологического состояния почв весьма высока, так как содержание тяжелых металлов в листьях возрастает прямо пропорционально той техногенной нагрузке, которой они подвергаются.

Литература

1. Лисецкий Ф. Н., Зеленская Е. Я. Различия в содержании тяжелых металлов в почвах южного берега Крыма (пространственно-временной анализ) // Экосистемы. 2023. №34. С. 81-91.

ЗНАЧЕНИЕ КРИОСФЕРЫ В ГЛОБАЛЬНОМ КРУГОВОРОТЕ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ, КОНСЕРВАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

ПОЧВЕННО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР, ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гинзбург А.П., Лупачев А.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Россия, Пущино, Институтская 2/2, e-mail: alexandrginzburg13154@yandex.ru

Шпицберген – территория уникального ландшафтного и биологического разнообразия, находящегося под угрозой деградации из-за климатических изменений и роста антропогенной нагрузки. Особую роль для экосистем Шпицбергена имеет динамика криолитозоны и, в т.ч. развитие опасных криогенных процессов.

Ранее исследовано строение криолитозоны Шпицбергена, залежи подземных льдов [Втюрин, 1989; Westerveld et al., 2023 и др.]. Проводится мониторинг температур многолетнемерзлых пород (ММП) и мощности сезонноталого слоя (СТС) [Демидов и др., 2016 и др.], наблюдения за динамикой ледников [Streuff et al., 2022 и др.]. Достаточно подробно изучены эколого-геохимические особенности местных почв [Крячюнас и др., 2014; Алексеев, Абакумов, 2016 и др.], менее детально рассмотрены вопросы взаимообусловленного формирования почв и верхних слоев ММП [Jones et al., 2020; Bartos et al., 2023 и др.]. Недостаток знаний о взаимодействии криогенных почв и подстилающей мерзлоты обусловил необходимость изучения современного почвенно-мерзлотного комплекса (ПМК).

Полевые исследования на Шпицбергене проводились в июле 2024 г., на приморских низменностях заливов Грэн-Фьорд и Ис-Фьорд. Описано 20 почвенных разрезов, измерена скелетность щебнистых почв, по реакции с желтой кровяной солью *in situ* диагностировано их оглеение. Проведены измерения температуры почв. Изучены физико-химические характеристики природных вод: кислотность (рН), содержание легкорастворимых солей (TDS), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и температура.

Из 20 изученных разрезов 10 относятся к слаборазвитым почвам. Петрозёмы, в т.ч. гумусовые, формируются на плотных породах, участки которых встречаются здесь в различных ландшафтно-геоморфологических условиях. Они характеризуются скелетностью 64,6 – 93,1% и полным отсутствием реакции с желтой кровяной солью. К делювиальным шлейфам в нижних частях крутых коренных склонов, приурочены ареалы пелозёмов, в т.ч. гумусовых, слаборазвитых почв на суглинисто-глинистых высокощебнистых (до 67,3%) отложениях. Суглинистый мелкозем демонстрирует визуальные признаки оглеения, которые подтверждаются низкими значениями Eh почвенных вод в этих разрезах (175 мВ).

Ландшафты низких пойм Грэн-Фьорда и Ис-Фьорда представлены солончаками сульфидными. Причиной их засоления является периодическое затопление прибрежной зоны высокоминерализованными морскими водами с низкими значениями Eh, показатели TDS в которых превышают 5 000 мг/л. Незасоленные почвы здесь также характеризуются низкими значениями Eh от -3 до 90 мВ. В таких условиях формируются глееземы.

Практически повсеместно на территории исследования были встречены формы криогенного микрорельефа: каменные многоугольники, морозобойные трещины, пятна-медальоны и т.п. В почвах, поверхность которых осложнена пятнами-медальонами, наблюдаются нарушения

естественного строения профиля в процессе криотурбации. Такие почвы были отнесены к криозёмам грубогумусовым.

В районе бухты Колсбей были описаны серогумусовые почвы на погребенных профилях других почв. В одном из них вскрываются два погребенных профиля солончаков сульфидных, во втором – погребенный профиль криозема грубогумусового глееватого. Это, предположительно, свидетельствует о резкой смене условий осадконакопления, которая могла быть вызвана перекрытием поверхности солончака щебнистой мореной. Конечно-моренная гряда после отступления ледника была переработана временными водотоками и переотложена в дельте р. Колсельвы. Затем отдельные участки этой дельты обособились, после чего основное русло реки и ее проток не прерывали почвообразование на них.

Система из нескольких террас, исследованная на северном склоне долины р. Колсельвы имеет частично насыпное происхождение, о чем говорит нетипичная для данной местности растительность – ярко-зеленая осоково-злаково-разнотравная тундра. Строение профиля почвы подтверждает эту гипотезу: вся толща СТС была выделена в один генетический горизонт U, состоящий из неоднородного, обогащенного органическим веществом материала, и включающий фрагменты ржавого металла, обработанного дерева и останков фауны. Возможна интерпретация данного объекта как результата геотехнического мероприятия по организации водовода на склоне, где расположены шахта и зернохранилище, что неожиданно привело к предотвращению вытаивания ММП, несмотря на благоприятные для этого геоморфологические условия.

Средняя мощность СТС почв составила 75,6 см, а в большей части разрезов ММП залежали на глубине 80 – 85 см. Верхний слой ММП имел высокие отрицательные температуры -0,6 – -0,1°C, невысокую льдистость и корковую криотекстуру. Тонкие пленки льда покрывают поверхности гальки, валунов и т.п. В мелкоземе видимых проявлений льда обнаружено не было, его криотекстура преимущественно массивная.

Следующим этапом изучения ПМК Шпицбергена планируются исследования верхних метров толщи ММП под почвенным профилем, для понимания закономерностей строения ПМК и обнаружения продуктов почвообразования в верхних слоях многолетней мерзлоты.

Благодарности: Работы проведены в рамках Госзадания № 123071700018-6 (ИФХиБПП РАН). Авторы благодарят сотрудников РНЦШ ААНИИ за помощь в проведении полевых и лабораторных работ в Баренцбурге.

Литература

1. Bartos A. et al. (2023) Morphology and properties of permafrost-affected soils under different tundra vegetation in central Spitsbergen. *Polish Polar Res.* Vol. 44, No. 1, pp. 1-20.
2. Jones E.L. (2020) Biogeochemical Processes in the Active Layer and Permafrost of a High Arctic Fjord Valley. *Front. Earth Sci.* 8:342.
3. Streuff, K.T. et al. 2022: GlaciDat – a GIS database of submarine glacial landforms and sediments in the Arctic. *Boreas*, Vol. 51, pp. 517–531.
4. Westerveld, L. et al. (2023) Arctic Permafrost Atlas. GRID-Arendal, Arendal.
5. Алексеев И.И., Абакумов Е.В. Таксономическое и морфологическое разнообразие почв окрестностей залива Гренфьорд (архипелаг Шпицберген) // Самар. Лука: пробл. регионал. и глобал. Экологии, 2016. Т. 25. №4. С. 156-161.
6. Втюрин Б.И. Подземные льды Шпицбергена. Матер. гляциолог. исслед. Хроника, обсуждения. 1989. №65. С. 69-75.
7. Демидов Н.Э. и др. Первые результаты мерзлотных наблюдений на криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ) // Пробл. Аркт. и Антаркт., 2016. №4 (110). С. 67-79.
8. Крячюнас В. и др. Тяжелые металлы в арктических почвах Западного побережья архипелага Шпицберген // Экология человека, 2014. 09. С. 8-13.

МИКРОСТРОЕНИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ И ПАЛЕОПОЧВ, А ТАКЖЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАТАГАЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Луначев А.В.¹, Тананаев Н.И.², Мёртон Дж.³, Калинин П.И.¹,
Мальшев В.В.¹, Данилов П.П.⁴

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Россия, Пущино, Институтская 2/2, e-mail: a.lupachev@gmail.com

² Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, Россия, Якутск, ул. Мерзлотная, 36

³ Permafrost Laboratory, Department of Geography, University of Sussex, Brighton, United Kingdom

⁴ Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. проф. Д.Д. Саввинова, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия, Якутск, пр. Ленина, 43

Батагайский разрез многолетнемерзлых пород 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.

Обобщение полученных данных о микростроении и геохимических свойствах отложений разреза “Батагай” позволило сделать некоторые предположения о характере природной обстановки в наиболее благоприятные для развития почвенно-растительного покрова эпохи. Как минимум, три интервала в составе отложений в значительной мере преобразованы педогенными процессами. Наиболее древний (МИС 7 или древнее) содержит палеопочвы, подобные современным торфяно-глебеземам, по пространственному строению характерным для заболоченных плоскополигональных тундр. Интервал, относящийся к эпохе МИС 5е содержит профиль хорошо развитого мерзлотного торфяно-подбура, вероятно сформированного под хвойно-мелколиственным лесом. Верхняя часть отложений возраста МИС 3 содержит почвоподобное тело, насыщенное грубым органическим материалом, близкое по строению к слабо развитому огленному торфяно-криозему.

Первый интервал приурочен к нижней части разреза (глубина 66-70 м), здесь характерно 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 позволяют предположить, что в период формирования этой части толщи, поверхность здесь была сильно заболочена. 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 интервал относится к субгоризонтальному прослою эпигенной погребенной почвы в центральной части толщи разреза (38-43 м). Процессы миграции альфегумусовых соединений здесь выражены даже ярче, чем в современных подбурах, в виде охристой прокраски минеральных горизонтов. В микроморфологическом строении материала диагностируются четко оформленные комковато-плитчатые и ооидные агрегаты, хорошо сохранившиеся углистые частицы и корневые ходы, поровое пространство имеет ясные границы. Присутствует оптически неориентированная глина, участвующая в образовании сложных микроагрегатов. Преобладание слабокатанного 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 5е экологических условий близких к современным.

Серия из нескольких почвоподобных тел, мощностью 10-30 см, содержащих органический материал различной степени разложения, представлена в зоне контакта отложений МИС 4-3. Органосодержащие прослои разделены более мощными (30-50 см) прослоями минерального материала, что характерно для раннекаргинских палеопочв, описанных ранее для других регионов севера Якутии. Почвоподобные тела имеют различную степень выраженности и дифференцированности, что может указывать на различия в климатических условиях и режиме седиментации в этот период.

Установлено, что отложения, слагающие разрез происходят из окружающих гранитных и диоритовых массивов со значительным участием ожелезненных метаморфизованных аргиллитов. Согласно данным геохимических индексов CIA, La/Sc и Zr/Sc, отложения относительно хорошо выветрелые, а их источник в значительной мере не менялся за весь период депонирования. В современных почвах, а также в палеопочвах и почвоподобных телах зафиксированы максимальные показатели индексов биологической активности P_2O_5/TiO_2 и Na_2O/K_2O . Валовое содержание Na_2O и CaO возрастает в почвах интергляциалов и интерстадиалов, тогда как содержание K_2O возрастает в материале криопедолитов.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00242, <https://rscf.ru/project/23-27-00242/>.

НОВЫЙ ВИД ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ НЕМАТОД ИЗ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ЯКУТИИ

Шатилович А.В.^{1,2}, Чесунов А.В.³, Губин С.В.¹

¹ИФХиБПП ФИЦ РАН, г.Пушино

²ЗИН РАН, г.Санкт-Петербург

³МГУ им.Ломоносова, г.Москва

nastyia.shat@rambler.ru

Среди важнейших находок последних лет - обнаружение многоклеточных организмов - нематод и коловраток, сохранивших жизнеспособность в условиях вечной мерзлоты. Известно, что нематоды способны переносить длительное воздействие неблагоприятных условий, в том числе отрицательной температуры (криобиоз), сочетая различные стратегии выживания. Нематоды семейств Panagrolaimidae и Plectidae, к которым принадлежат обнаруженные в многолетнемерзлых отложениях виды, населяют почвенные и пресноводные биотопы, широко распространены на всех континентах, включая Антарктиду, обладают высокой устойчивостью к высыханию и замораживанию.

Нематоды семейства Panagrolaimidae были выделены из материала ископаемой норы, отобранной в 2002 году из мерзлой стенки обнажения Дуванный Яр. Обнажение расположено на правом берегу реки Колымы (N 68.628232, E 159.194842) и подробно описано как ключевой участок позднеплейстоценовых отложений (ледовый комплекс) на северо-востоке Арктики.

Радиоуглеродный анализ растительного материала, полученного из исследуемого образца норы P-1320, был проведен с использованием методов ускорительной масс-спектрометрии (AMS) (Институт географии РАН, IGANAMS 9137). Прямой ^{14}C возраст образца составляет $44\ 315 \pm 405$ л.н., калиброванный возрастной диапозон - $45\ 808 \pm 47\ 748$ кал. л.н. (вероятность 95,4%). Таким образом, длительность криптобиоза обнаруженных нематод составляет более 45 тыс лет.

Для выделения жизнеспособных нематод из мерзлого образца применяли стандартные методы накопительного культивирования на минеральных средах с использованием *E.coli* OP50 в качестве источника питания. Получены клональные культуры нематод и проведено их детальное морфологическое описание. Однако, отсутствие самцов у этого партеногенетического вида делает его морфологическое сравнение с другими видами *Panagrolaimus* не совсем надежным. Для выделения нового вида были использованы методы молекулярной филогенетики. Проведено полногеномное секвенирование и высококачественная сборка генома – с использованием

методов секвенирования PacBio HiFi получено 84-кратное покрытие при длинных прочтениях (средняя длина 14425 п.н.). К-мерный анализ считываний показал, что новый вид имеет триплоидный геном, аналогично другим партеногенетическим видам *Panagrolaimus*. Мультигенный (60 генов) филогенетический анализ выделил *P.kolymaensis* n.sp. как внешнюю группу относительно других ранее отсеквенированных панагролаймусов на филогенетическом дереве. Таким образом, было показано, что плейстоценовые нематоды принадлежат к новому виду *Panagrolaimus kolymaensis* n.sp. (Rhabditida, Nematoda). Голотип и 18 паратипов *Panagrolaimus kolymaensis* n.sp. депонированы в коллекцию Senckenberg Natural History Museum, Frankfurt am Main, Germany.

Проведен сравнительный анализ механизмов криптобиоза древнего червя *P. kolymaensis* n.sp. и дауэр личинок *Caenorhabditis elegans* с использованием генетических и биохимических методов. Показана высокая устойчивость древних нематод к высушиванию и замораживанию (-80°C), которая значительно возрастает после прекондиционирования (медленное высушивание), что подтверждает гипотезу об использовании механизмов ангидробиоза для сохранения жизнеспособности при естественном замораживании в мерзлых отложениях. Базальный уровень трегалозы очень низок у *P. kolymaensis* n.sp., однако, значительно увеличивается (до 20 раз) при прекондиционировании. Установлено, что повышение уровня трегалозы происходит за счет расходования жировых запасов по пути глюконеогенеза, как это описано и для дауэр личинок *C. elegans*.

Анализ генома *P. kolymaensis* n.sp. показал наличие ортологов всех ферментов *C. elegans*, необходимых для цикла ТСА, гликолиза, глюконеогенеза, а также глиоксилатного цикла, что позволяет предположить, что *P. kolymaensis* n.sp. обладает генетической основой для аналогичного механизма выживания при обезвоживании, описанном для дауэр личинки *C. elegans*. Полногеномное секвенирование штаммов и молекулярно-генетические исследования проводили совместно с коллегами из Института молекулярной клеточной биологии и генетики им. Макса Планка, Дрезден, и Университета Кельна (Германия).

СЛОЖНЫЕ МИКРОБНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КРИОКОНИТОВ НА ОТСТУПАЮЩИХ ЛЕДНИКАХ: ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕДНИКОВ О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Спирина Е.В.¹, Мергелов Н.С.², Шишков В.А.², Долгих А.В.², Завовская Э.П.^{2,3}

¹ - Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, корп. 2.
e-mail: elenaspirina69@yandex.ru

² - Институт географии РАН, 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4.

³ - Центр прикладных изотопных исследований Университета Джорджии, США

Криоконитовые «стаканы» на поверхности ледников являются уникальными экологическими нишами, содержащими комплекс органо-минеральных частиц темного цвета, чаще эолового происхождения (криоконит), покрытый тонким слоем талой воды. Микроклимат, сложившийся в силу доступности питательных веществ и воды, определенного температурного режима, достаточных условий освещенности и аэрации, способствует колонизации криоконитового материала активными микробными сообществами, способными инициировать процесс первичной сукцессии, а также играть значительную роль в локальных процессах круговорота питательных веществ и основных элементов биогеохимических циклов. Для оценки потенциального вклада микробных сообществ в первичные процессы почвообразования было изучено разнообразие бактерий, цианобактерий и эукариотических микроводорослей для 14 проб криоконитового материала ледников Альдегонда и Бертель.

Результаты показали, что состав эукариотических микроводорослей и цианобактерий различается как в пределах криоконитов каждого из ледников, так и между ними. Несмотря на это, во всех пробах обнаружены цианобактерии, зеленые и диатомовые водоросли. Выявлены пред

ставители 12 видов цианобактерий предварительно отнесенных нами к родам: *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Planktothrix*, *Synechocystis*, *Synechococcus*, *Chroococcus*, *Microcystis*, *Anacystis*, *Pseudoanabaena*, *Microcoleus*. Среди зеленых водорослей были выделены 5 штаммов представителей родов *Gloecystis* и *Chlorococum*. Диатомовые водоросли представлены родами *Navicula*, *Pinnularia*, *Tabellaria* и *Nitzschia*. В криоконитах л. Бертель выявлены представители отдела высших растений *Bryophyta* или Мхи.

Анализ генетического разнообразия бактериальных сообществ методом метабаркодинга по гипервариабельной области V4 гена 16S рРНК позволил составить представление, как о разнообразии, так и об обилии прокариотических микроорганизмов этих экологических ниш. Результаты показали, что наиболее значимыми и вносящими существенный вклад в структуру микробных сообществ криоконитов обоих ледников являются представители фил: *Proteobacteriota*, *Actinobacteriota*, *Bacteroidota*, *Cyanobacteriota*, *Firmicutes*, *Chloroflexi*, *Mycococcota*, *Planctomycetota*, *Bdellovibrionota*, *Acidibacteriota*, *Verrucomicrobiota*, *Gemmatimonadota*, *Fibrobacterota*, *Deinococcota*, *Desulfobacterota*, *Campilobacterota*, *Caldisericota* и *Auditibacteriota*. Однако их количественные характеристики варьируют как между ледниками, так и от пробы к пробе в пределах каждого из ледников. Значительная доля генетического разнообразия прокариотических сообществ для всех исследуемых криоконитов приходится на представителей филы *Proteobacteriota*. Максимальными значениями характеризуются криокониты **A19-1**, **A19-2**, **A19-7** (л. Альдегонда) – от 31 до 54% и **Pr9** (л. Бертель) – 55,9%. Следующая по важности и доминированию в структуре сообществ является фила *Cyanobacteriota*. Наибольшим разнообразием и обилием видов характеризуются сообщества криоконитов л. Бертель, где их доля в сообществе достигает 47%, тогда как для криоконитов л. Альдегонда составляет всего 6,3%. Не менее значимый вклад в разнообразие и структуру криоконитовых сообществ вносят представители филы *Bacteroidota*, включающей множественные группы бактерий тяготеющие к водным экосистемам морского и океанического происхождения. Наиболее значительно, от 1 до 3,6 %, фила *Bacteroidota* представлена бактериями семейства *Chitinophagaceae*. Семейство *Spirisomaceae* наиболее обильно представлено в пробах криоконитов л. Бертель - 1,3%, а их доля в пробах л. Альдегонда составила менее 1%. Другими важными, как в таксономическом, так и экологическом аспекте, являются представители филы *Firmicutes*. Наиболее разнообразными и многочисленными в пределах данной филы *Firmicutes* являются представители классов *Clostridia*, *Bacilli*, *Negativicutes* и *Desulfibacteriia*. Показано также, что существенную долю в генетическое разнообразие сообществ всех криоконитов вносят представители филы *Actinobacteriota*. Соотношение бактерий в пределах класса *Actinobacteria* отличается между ледниками, их доля для проб л. Альдегонда варьирует в пределах 10,3 - 28%, а для л. Бертель 2,5 - 14%.

Анализ генов микроорганизмов метанового цикла выявил, что бактерии, осуществляющие метаноокисление (классы *Gammaproteobacteria*, *Alphaproteobacteria* и *Verrucomicrobiae*), превалируют над метанобразующими археями (рода *Methanosarcina* и *Methanoregula* филы *Halobacterota*, семейство *Methanomassiliicoccaceae* филы *Thermoplasmata*). Присутствие, хоть и в небольшом количестве, генов метанобразующих архей, не исключает возможность метаногенеза.

ДИАГЕНЕЗ МИКРОФИТОФОССИЛИЙ В ПОЧВАХ И ОТЛОЖЕНИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Занина О.Г.¹, Лопатина Д.А.², Ковалева Н.А.¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения - обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ Российской академии наук, 142290, Россия, г. Пущино Московская область, ул. Институтская, д. 2, e-mail: oksana.g.zanina@gmail.com

²Геологический институт РАН, 19017, Москва, Пыжевский пер., 7, e-mail: dalopat@mail.ru

Одним из объектов, содержащих информацию о состоянии экосистем в прошлом являются почвы и осадочные отложения, которые насыщены микроостатками, образующимися при отмирании организмов. Изучение качественных и количественных показателей комплексов мик-

рофоссилий не только позволяет реконструировать состав и проследить смену биоценозов во времени, но и определить направленность природных процессов.

Проблеме тафономии микрофоссилий посвящено много исследований. В большинстве публикаций проводится анализ отдельных организмов, используемых в качестве инструмента для реконструкции природной среды, их повреждениям после переноса и переотложения. Значительная часть исследований направлена на изучение тафономических процессов в районах с умеренным и тропическим климатом, крайне мало работ, посвящённых тафономии в арктических широтах, в зоне распространения многолетнемерзлых пород и постоянного воздействия низких температур. Одной из таких территорий является Северо-Восток Якутии. Сохранность и устойчивость микробиоморф в отложениях определяется во многом условиями окружающей среды, в том числе на этапе погребения. Криогенез сопровождается переходом биогенного материала в фоссильное состояние в условиях холодного климата и играет основную роль в регионе на протяжении позднего неоплейстоцена и голоцена. Изучение современных биоценозов современных почв и подстилающих их отложений ледового комплекса Колымской низменности показало, что субфоссильные микробиоморфные спектры, отражают состав продуцирующей их растительности с некоторым искажением [1]. Вопрос об адекватности отражения современной растительности в микробиоморфных спектрах остается открытым. Поэтому, при реконструкциях природной среды в криолитозоне необходимо учитывать процессы эволюции минерального и органического вещества под воздействием криогенных процессов.

В настоящей работе изучали трансформацию различных минеральных субстратов, биогенного кремнезёма и органических новообразований под влиянием многократных циклов промерзания-оттаивания в различных биогеохимических условиях в модельном эксперименте.

Объектом нашего исследования явились образования биогенного генезиса: фитолиты, диатомовые водоросли, спикулы губок и палиноморфы, которые имеют характерную морфологию, устойчивы в разных условиях среды, и что важно обладают высокой сохранностью во времени.

Все исходные субстраты, подготовленные для эксперимента, разделялись на несколько частей. Первый вариант был оставлен без изменений - воздушно сухой вариант; во второй - добавили дистиллированную воду; в третий – р-р органической кислоты (C₆H₈O₇), pH = 3; в четвёртый – щелочной раствор (NaOH) pH=9,2; в пятый - 2‰ раствор смеси химически чистых солей NaCl и MgSO₄·7H₂O; в шестую - 10‰ раствор смеси солей NaCl и MgSO₄·7H₂O; в седьмую – раствор хвойного экстракта с pH = 4,5. Подготовленные таким образом растворы моделируют химические условия в почвах и отложениях Северо-Востока. Насыщение проводили до достижения полной влагоёмкости. Затем каждая из подготовленных частей с различной химической средой сгруппирована по трем температурным условиям. Первая группа оставлена в обычных условиях при комнатной температуре, вторая помещена в морозильную камеру и находилась в замороженном состоянии все время эксперимента, оставшаяся проходила циклы промерзания - оттаивания.

Провели изучение циклично промёрзших –оттаивавших образцов в течение 100, 200, 300 и 500 циклов, что соответствует 156, 306, 480, 869 суткам. Контрольными считали образцы, хранившиеся в морозильной камере

Определение степени и характера разрушения биоморф и их количественный подсчёт проводили с помощью световой микроскопии (Carl Zeiss AxiolabA1). Электронная микроскопия позволила точно установить особенности формы и поверхности частиц и сделать выводы об их изменениях (VEGA 3 TESCAN).

Для палиноморф определялись разрывы и трещины на поверхности (разрушения физического типа). Выявлялись нарушения химико-биотического типа: истончение экзины и каверны на палинологическом материале. Для минеральных биоморф - трещины, сколы, шелушение поверхности, изъязвление и коррозия поверхности фитолитов, истончение панцирей диатомовых водорослей.

Выявлено, что микробиоморфы, находившиеся в постоянно мерзлом состоянии 869 суток не испытали какого-либо существенного влияния, сохранив морфологические признаки. Палиноморфы, находившиеся при комнатной температуре, имели различную сохранность в зависимости от химизма среды. Самые значительные нарушения отмечены для щелочных условий и

при добавлении хвойного экстракта. После 500 циклов у пыльцы сосны из увлажнённых образцов отмечены повреждения физического типа (разрывы и трещины) в районе лептомы–тонкостенного участка на пыльцевом зерне между пыльцевыми мешками.

Исследование поверхности разнообразных форм фитоцитов экспонировавшихся при комнатной температуре показало, что самые заметные изменения произошли с ELONGATE ENTIRE, POLYLOBATE и BLOKY формами в хвойном экстракте, а с формами ELONGATE DENTATE, ELONGATE DENDRITIC, RONDEL и ACUTE BULBOSUS, имеющими выросты и шипики самые значительные изменения произошли в щелочной среде.

Отмечено, что после 200 циклов происходит заметное растрескивание поверхностей ELONGATE, CRENATE и TRAPEZOID форм, нарастающее к 500 циклам. Кислота приводит к косому растрескиванию массивных форм. Щелочные условия вызывают расслаивание форм и пористости образующейся поверхности. Растворы солей приводят к растрескиванию массивных форм и крупных остатков эпидермиса, при этом способствуя лучшему сохранению пористых TRAPEZOID форм. В переувлажнённом субстрате к 500 циклам промерзания-оттаивания ELONGATE ENTIRE фитоциты и спиккулы губок теряют концы, сохраняя при этом форму.

Диагенетические изменения минеральных микробиоморф в условиях циклического промерзания-оттаивания зависят от их формы, внутреннего строения и плотности. Связь между растворением фитоцитов в переувлажнённых условиях и химизмом среды не установлена. Прохождение палиноморфами 500 циклов не оказало какого-либо видимого влияния на сохранность пыльцы и спор.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН рег. 122040500038-3.

Литература

1. Занина О.Г., Лопатина Д.А. Биоиндикаторы условий формирования верхнеплейстоценовых каргинских и сартанских отложений Колымской низменности и особенности их тафономии при многократном воздействии криогенных факторов. Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. Т. 30. № 5. С. 111-128.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭКОСИСТЕМ

НА ЧЕМ ТРЕНИРОВАТЬ «ИИ-СПЕЦИАЛИСТА» ПО ПОГЛОЩЕНИЮ УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ?

Александров Г.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
Пыжевский пер. 3, Москва, 119017; g.alexandrov@ifaran.ru

Развитие технологий искусственного интеллекта достигло уровня, на котором становится технически возможным создание "ИИ-ученых", компьютерных программ, способных провести анализ научной литературы, выдвинуть гипотезу, проверить ее состоятельность и написать статью для научного журнала, а также подготовить рецензии на эту статью [4]. Что касается "ИИ-специалистов", компьютерных программ, способных отвечать на вопросы, относящиеся к соответствующей сфере науки или техники, то для их создания сейчас нужны только подходящие учебные материалы. "ИИ-специалиста" так же, как и обычного специалиста, нужно обучать, и уровень его подготовки существенно зависит от уровня учебных материалов.

Если мы решим создать "ИИ-специалиста" по поглощению углерода почвами, то вероятно поймем, что вряд ли он сможет дать конкретные ответы на те вопросы, которые могут возникнуть, например, при попытке реализовать на практике инициативу «четыре промилле» [1, 9, 10]. Результаты библиографического поиска показывают, что статей, где содержится ответ на вопрос о том, каким может быть поглощение углерода в почвах при конкретных условиях, не так уж много, а по сравнению с разнообразием конкретных условий – ничтожно мало.

Чтобы проиллюстрировать эту проблему, рассмотрим шаблон вопроса, представленный на рисунке. Используя этот шаблон, можно сгенерировать огромное количество конкретных вопросов. Принимая во внимание число областей, разнообразие типов почв и видов сельскохозяйственных культур, а также механизмов и характеристик поглощения углерода, общее количество вопросов, соответствующих этому шаблону, измеряется тысячами, а количество научных статей, содержащих ответы на подобные вопросы [2, 3, 5-8], не превышает нескольких десятков. Очевидно, что заготовить ответы на миллион возможных вопросов вручную невозможно.

Автоматизировать подготовку учебных материалов для "ИИ-специалиста" можно с помощью компьютерной программы, использующей для оценки поглощения углерода какую-либо

Распределение результатов исследований по поглощению углерода в агро-экосистемах по семантическим классам онтологической модели данной предметной области

Выберите семантический класс с помощью списков выбора:

потенциал поглощения углерода в

за счет в результате

на территории занимаемой

произрастающими на

в случае реализации сценария мировой экономики

[ознакомьтесь с результатами](#)

Рис. 1. Скриншот информационной системы, предназначенной для систематизации результатов исследований по поглощению углерода в агроэкосистемах Русской равнины.

математическую модель цикла углерода и представляющей результаты моделирования в виде развёрнутого ответа на вопрос о поглощении углерода в тех или иных конкретных условиях, то есть имитирующей деятельность ученого, точнее говоря, ее рутинную часть. Таким образом, остается только понять каким образом можно будет сертифицировать эти учебные материалы, и кто именно сможет выступить в роли сертифицирующего органа: самоорганизованная группа экспертов, ученый совет ИФХиБПП РАН или Научный совет РАН по проблемам климата Земли.

Литература

1. Иванов А.Л., Столбовой В.С. Инициатива “4 промилле” – новый глобальный вызов для почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 185-202. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202.
2. Романовская А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т., Смирнов Н.С. Динамика элементов баланса углерода на неиспользуемых пахотных угодьях Валдайской возвышенности // Экология. – 2012. – № 5. – С. 347. – EDN PBLXZJ.
3. Столбовой, В. С., Филь П. П. Оценка содержания углерода в сельскохозяйственных почвах Европейской территории России для климатических проектов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2023. – Т. 87, № 4. – С. 568-583. – DOI 10.31857/S2587556623040143.
4. Castelvechi D. Researchers built an ‘AI Scientist’ — what can it do? // Nature – 2024. – Vol. 633. – P. 266. doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-024-02842-3>
5. Husniev I. et al. Modelling and Prediction of Organic Carbon Dynamics in Arable Soils Based on a 62-Year Field Experiment in the Voronezh Region, European Russia // Agronomy. 2020. Vol. 10, № 10, P. 1607.
6. Ilichev I. et al. Arable podzols are a substantial carbon sink under current and future climates: Evidence from a long-term experiment in the Vladimir Region, Russia // Agronomy. 2021. Vol. 11, № 1. P. 90.
7. Kudeyarov V.N. Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48, № 9. P. 923–933.
8. Kurganova I.N. et al. The Dynamics of Carbon Pools and Biological Activity of Retic Albic Podzols in Southern Taiga during the Postagrogenic Evolution // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54, № 3. P. 337–351.
9. Li L. et al. Emerging new global soil governance structure in agrifood systems: Taking the “4 per 1,000” initiative as an example // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2023. Vol. 7. P. 1104252.
10. Minasny B. et al. Soil carbon 4 per mille // Geoderma. 2017. Vol. 292. P. 59–86.

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ УГЛЕРОДА ИЗ ПОЧВ ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

Голубятников Л.Л., Завалишин Н.Н., Александров Г.Г.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
Москва, Пыжевский пер., 3, golub@ifaran.ru

Целью данного исследования является анализ изменения поступления углерода из тундровых экосистем России в атмосферу в результате разложения мортмассы и почвенного органического вещества за период с 1980 по 2020 года методами математического моделирования.

Оценки эмиссии углерода из почв тундровых экосистем получены на основе разработанной трех-компарментальной динамической модели углеродного цикла. Компарментами в используемой модели углеродного цикла являются живая фитомасса, мортмасса, органическое вещество почвы. В имитационных расчетах использовались значения климатических параметров (среднегодовая приземная температура воздуха, годовая сумма осадков, годовая суммарная солнечная радиация) из базы данных реанализа ERA-5. Проведенные вычисления эмиссии углерода из почв тундровых экосистем выполнены с годовым шагом по времени для пространственного разрешения 0.5°x0.5° географической долготы и широты.

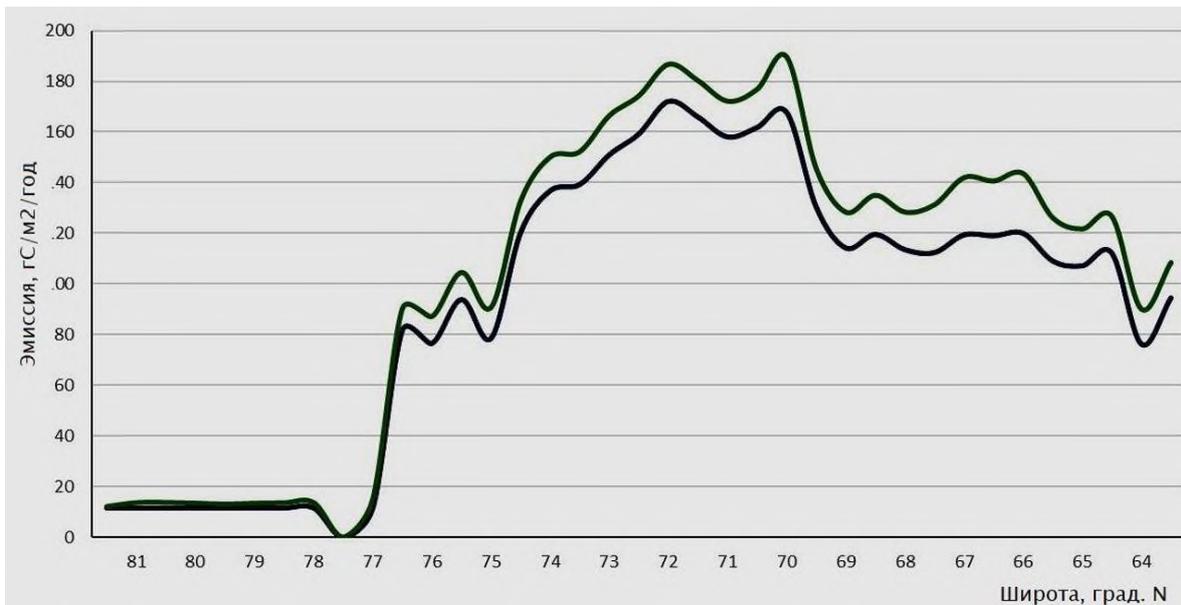


Рис. 1. Широтные распределения рассчитанной эмиссии углерода из почв тундровых экосистем России для 1980 (синий) и 2020 (зеленый) годы.

Проведенное исследование показало, что за рассматриваемый период интенсивность потока углерода из тундровых экосистем России в атмосферу в результате разложения мортмассы и почвенного органического вещества увеличилась практически повсеместно, но неравномерно по регионам. Рассчитанные широтные распределения эмиссии углерода из почв тундровых экосистем России в начале и конце рассматриваемого периода представлены на рис. 1.

Из полученных результатов следует, что в широтном диапазоне 76.5° – 81.5° N значения оцениваемого потока в 2020 г. незначительно отличаются от значений 1980 г. Наибольшее увеличение эмиссии углерода из почв тундровых экосистем России в конце расчетного периода вероятно в широтных диапазонах 65° – 69° N и 71° – 74° N. Различия в суммарных по широте значениях исследуемого потока в конечный и начальный моменты моделирования в указанных диапазонах широт не превышают 50 гС м^{-2} в год.

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 Государственного задания «Моделирование влияния изменений климата на экологические процессы и системы» (рег. № 1021032424681-6).

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ПОСТУПЛЕНИИ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ В ПОЧВУ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА
СЕКВЕСТРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Горбачева А.Ю.¹, Мешалкина Ю.Л.¹, Добровольская В.А.¹, Романенков В.А.¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, buyvolova@gmail.com

Использование локальных данных имеет решающее значение для точного моделирования поглощения органического углерода почвами с помощью Ротамстедской углеродной динамической модели RothC. Точная калибровка модели для использования на национальном уровне с уче-

том региональных и местных данных, таких как поступления органического углерода в почву, может значительно улучшить прогнозы модели. Расчет и прогнозирование чистой первичной продукции (NPP, т С/га в год) лежит в основе использования RothC, которая требует точных оценок NPP в качестве исходных данных для прогнозирования количества органического углерода, поступающего в почву из растительных остатков. Выбор метода или комбинации методов прогнозирования NPP необходим для успешного применения модели RothC, поскольку он напрямую влияет на способность модели точно предсказывать динамику почвенного углерода.

Цель данного исследования оценить потенциал секвестрации органического углерода почвами Белгородской области с использованием расчетных значений чистой первичной продукции для пахотных почв, рассчитанных на основе данных Росстата об урожайности и посевных площадях сельскохозяйственных культур. Для этого расчет NPP проводился согласно Методическим рекомендациям по расчету чистой первичной продукции (NPP) на территории сельскохозяйственных угодий по данным официальной статистической информации, которые включают в себя пять шагов: 1) Извлечение данных из Базы данных показателей муниципальных образований (БД ПМО Росстат); 2) Подготовка данных для работы в редакторе POWER QUERY; 3) Расчеты в редакторе POWER QUERY: представление данных в транспонированном виде и объединение нескольких таблиц в одну; 4) Расчет поступления углерода из разных частей растений для каждой культуры и каждого района; 5) Подготовка итоговых таблиц, суммирующих поступающий углерод по районам. Методические рекомендации основаны на данных Росстата об урожайности и посевных площадях сельскохозяйственных культур [1]. Урожайность была преобразована в следующие показатели: масса побочной продукции, масса поверхностных остатков, масса корней. Показатели рассчитаны для 20 базовых культур для каждой административно-территориальной единицы второго уровня (районы и прочие административные единицы) Белгородской области с использованием коэффициентов и уравнений регрессии Левина [2]. Чтобы рассчитать количество углерода, поступающего из растительных остатков, мы перевели биомассу в абсолютно сухое вещество, исходя из предположения, что влажность растительных остатков составляет 17% для зерновых и 75% для пропашных и других культур. Использованный коэффициент для перевода сухих растительных остатков в углерод считается стандартным и составляет 0,45. В качестве оценки среднего по району за период 2011 – 2020 гг. бралось медианное значение.

На рис. 1 приведены карты NPP, полученные с использованием региональных БД Росстата, и карты NPP, построенные с использованием климатических данных Climatic Research Unit (CRU TS v4.05, 1901–2020), имеющих разрешение порядка 50×50 км². Видно, что диапазоны значений NPP по данным Росстата больше, чем по данным CRU: для Белгородской области – это диапазоны от 4,4 т С га/год до 6,0 т С га/год и от 4,3 т С га/год до 4,8 т С га/год соответственно. В целом для Белгородской области средние значения NPP, разброс данных (стандартное отклонение) оказались выше при использовании БД Росстата. Значения NPP, построенные по данным Росстата, отражают реальную картину интенсивности сельскохозяйственного производства, выраженную в количестве произведенного углерода в расчете на га. Для Белгородской области в целом сохраняется зональный тренд уменьшения значений NPP с северо-запада на юго-восток. Однако районы, находящиеся на северо-западе, такие как Грайворонский, Краснояружский, Бо-

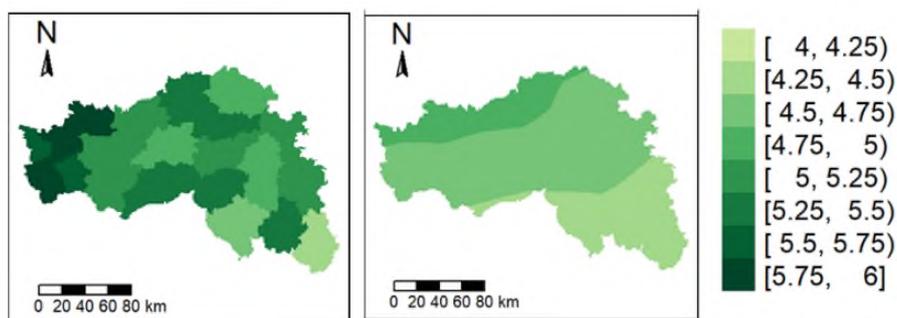


Рис. 1. Чистая первичная продукция (NPP) Белгородской области, т С га/год; слева – результаты расчетов по данным Росстата, справа – с использованием модели MIAMI.

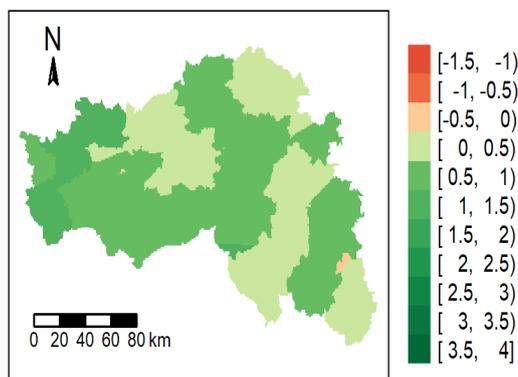


Рис. 2. Разность расчетов чистой первичной продукции (NPP) для Белгородской области по данным Росстата и с использованием модели MIAMI, т С га/год.

рисовский и Ракитянский, в среднем производят сельскохозяйственную продукцию, которая обеспечивает NPP выше на 1 т С га/год и более по сравнению с потенциальной, исходя из погодных условий. А такие районы, как Ровенский, Валуйский и Старооскольский в среднем производят меньше углерода, чем могли бы согласно модели MIAMI. NPP, рассчитанные по модели MIAMI, показывают большие значения, чем NPP, полученные по данным Росстата. На рис. 2 приведены карты, визуализирующие разность значений NPP с использованием двух методов. Во всех районах Белгородской области данные модели MIAMI оказались ниже данных полученных с использованием БД Росстата.

Таким образом, использование региональных данных для оценки значений NPP позволило получить более точные результаты на уровне районов, что имеет большое значение для построения дальнейших прогнозов секвестрации органического углерода. Также при сравнении районов, расположенных близко, например, в рамках одной природной зоны, можно оценить в целом успешность применяемых управленческих решений в области сельского хозяйства.

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).

Литература

1. Росстат. Краткий методологический комментарий к Базе данных показателей, характеризующих состояние экономики и социальной сферы муниципального образования (БД ПМО). 2022. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/met_bdpmo.htm
2. Левин Ф.И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции. Агрехимия. 1977. № 8. С. 36-42.

СОЛОМА КАК ФАКТОР СОХРАНЕНИЯ ПОЧВ

Захарова И.А., Юмашев Х.С., Лопухов П.М., Глаз Н.В., Шаталина Л.П.

Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, uuniisk@mail.ru

Органическое вещество почвы играет большую роль в её потенциальном плодородии почвы. Поиск источников пополнения запасов органического вещества - важнейшая задача науки. Солома полевых культур становится наиболее дешевым и доступным источником органического углерода посевных площадей, используемых в растениеводстве [8]. В земледелии предусматривается равновесное природопользование, при этом повышение продуктивности пашни и увеличение объёмов производства сельскохозяйственной продукции должно сопровождаться максимальным сохранением естественного плодородия почвы [6].

Табл. 1. Урожай основной и побочной продукции зерновых в Челябинской области

Культура	Посевная площадь, тыс. га	Валовой сбор зерна, тыс. тонн	Соотношение урожая зерно:солома	Валовой сбор соломы, тыс. тонн
Озимая рожь	150	300	1,1:3	390
Яровая пшеница	520	910	1:1,1	1001
Ячмень	350	560	1:1,2	672
Овёс	250	400	1:1,3	520
Всего	1270	2170	1:1,2	2583

В Челябинской области по данным мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, проводимого институтом, на основной площади пашни сохраняется тенденция к снижению содержания гумуса в почвах. Наиболее отчетливо проявилось снижение содержания гумуса в пахотном слое на пашне у обыкновенных и южных чернозёмов: с 7,36% на целине до 6,13% на пашне в обыкновенных чернозёмах и с 4,88% до 3,72% на южных чернозёмах. Аналогичное явление характерно для солонцовых комплексов. На солонцах лугово-чернозёмных содержание гумуса в 0-20 см слое почвы снизилось с 6,73% до 4,25%, солонцах чернозёмных с 5,89% до 4,12% [4,5]. Систематическая обработка почвы ведёт к увеличению подвижных фракций гумусовых веществ и углерода фульвокислот по отношению к углероду гуминовых кислот [7].

Одним из основных нетрадиционных способов восполнения запасов гумуса является использование соломы. В наших исследованиях большое внимание уделяется эффективности использования излишков соломы для предотвращения убывающих запасов органического вещества в почвах [3]. По предварительным расчётам запасы соломы в Челябинской области составляют около 2,6 млн. тонн (табл. 1).

Несмотря на очевидность положительной роли органических остатков на гумусное состояние почвы, на Южном Урале, до наших исследований отсутствовали экспериментальные данные об эффективности длительного систематического внесения резки соломы.

Опыт проводился с 1970 года на бессменном посеве яровой пшеницы. Расположение вариантов рендомизированное, фонов - последовательное. Опыт закладывается методом расщеплённых делянок: делянки первого порядка - фоны использования соломы, второго - дозы азотных удобрений.

Фон 1 представляет собой традиционную, принятую в практике технологию, когда солома удаляется с поля. На фоне 2 ежегодно оставляется измельченная солома, которая заделывается в почву путём многократного (2-3 следа) дискования тяжёлой дисковой бороной. На фоне 3 оставляется измельченная солома, которая заделывается в почву путём многократного (2-3 следа) дискования тяжёлой дисковой бороной, периодичность внесения год. На фоне 4 солома равномерно раскладывается по делянкам опыта вручную и сжигается, после чего проводится дискование с целью предотвращения разноса золы и пепла ветром. На фонах 2, 3 и 4 оставляется одинаковое количество соломы.

Впоследствии поперёк делянок проводится отвальная вспашка всех фонов на глубину 23-25 см. Количество вносимой в почву соломы определялось метровыми площадками и взвешиванием на весах с точностью до 0,1 кг. Минеральные удобрения вносятся в почву в разброс под предпосевную культивацию. Посев пшеницы осуществляется поперёк делянок вдоль поля сеялкой СЗП-3,6. Между фонами расположены защитные полосы шириной 2 м. Повторность 4-х кратная. Общее количество делянок в опыте 64, по 16 на каждой повторности. Площадь элементарной делянки первого порядка 800 м², второго – 200 м² (50x4), учётной – 190 м². (50x3,8). В исследованиях органического вещества почвы используются общепринятые методики.

Анализ метеорологических условий 50 - летнего периода исследований показал, что возделывание яровой пшеницы проходило как в условиях засухи, так и переувлажнения. Более половины лет исследований (56%) характеризовались как влажные и избыточно-влажные и только около 19% лет были в разной степени засушливыми [1,2].

В результате заправки соломы увеличилось количество водопрочных агрегатов. На контрольном варианте (солома удаляется, стерня запахивается) количество водопрочных агрегатов на неудобренном фоне составляло 64%; на фоне заправки соломы их количество возросло до 68,1%. Напротив, при удалении соломы и стерни количество водопрочных агрегатов снизилось до 52,3%. Ежегодная заправка соломы и пожнивных остатков в течение 36 лет снизила объёмную массу верхнего 0-10 см. слоя почвы на неудобренном фоне до 1,04 г/см³, а при внесении 120 кг/га д.в. азотного удобрения - до 1,08 г/см³. Это отмечалось и на фоне сжигания стерни и соломы, где объёмная масса верхнего горизонта почвы также снизилась по отношению к контролю. По нашему мнению это связано с большим поступлением корневых остатков, поскольку в среднем за 50 лет урожайность зерна на этом фоне была существенно выше контроля.

Литература

1. Васильев А.А., Нохрин Д.Ю., Гасымов Ф.М.О., и др. Анализ агроклиматических условий Уральского региона за период с 1966-го по 2020 годы и перспективный прогноз изменения среднегодовой температуры до 2050 года // АПК России. 2022. Т. 29. № 2. С. 139-147.
2. Васильев А.А., Нохрин Д.Ю., Глаз Н.В. и др. Изменение климата на Урале / Челябинск, 2023. 86 с.
3. Влияние сельскохозяйственного производства на плодородие чернозёмных почв северо-западной и центральной агроклиматических зон Курганской области Челябинск, 2024. 50 с.
4. Захарова И.А., Юмашев Х.С. Мониторинг плодородия чернозёмных почв Южного Зауралья Челябинск, 2023. 121 с.
5. Плеханова Л.Н., Иванов И.В., Ермолаев А.М. Некоторые результаты биомониторинга почв заповедника Аркаим Челябинской области / Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии в адаптивном земледелии. Челябинск, 2003. С. 308.
6. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П., и др. Агроландшафтно-экологическое районирование - основа устойчивого развития сельского хозяйства Восточной Сибири и Дальнего Востока // Биосфера. 2022. Т. 14. № 3. С. 193-199.
7. Уфимцева Л.В. Трансформация гумусовых веществ чернозема выщелоченного лесостепи Зауралья дис. на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Южно-Уральский государственный аграрный университет. Челябинск, 2002 129с.
8. Юмашев Х.С., Захарова И.А. Резервы повышения органического вещества чернозёмных почв Челябинск, 2024. 144с.

БАЗА ДАННЫХ «СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ В РЕГИОНЕ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ» ДЛЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ CAMPUS-S И EFIMOD3

Зубкова Е.В., Никонов А.В., Припутина И.В.

ФИЦ ПНЦБИ РАН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Россия, Пущино, Институтская ул. д.2;
zubkova@pbcras.ru

Для решения задачи оценки влияния структурного разнообразия лесной растительности на продуктивность лесных сообществ и накопление органического вещества в почвах методами имитационного моделирования, необходимы данные о содержании азота в растениях древесного яруса и напочвенного покрова, формирующих видоспецифичные фракции поверхностного и корневого опада. Подобные данные требуются, например, для параметризации созданных в лаборатории моделирования экосистем ИФХиБПП РАН модели динамики лесного напочвенного покрова CAMPUS-S [2,3] и системы моделей роста леса, динамики органического вещества и биогенного круговорота углерода и азота EFIMOD3 [1].

С этой целью для разных типов леса и лесорастительных условий Южного Подмосковья были получены натурные данные о содержании азота в надземных (листья, стебли) и подземных

ID	Species	Compartment	Date	Plant community	Координат	Координат	N [%]
29_01_200915_06_08_101	<i>Ononis acetosella</i> L.	root	20200915	Pineta composita (boreo-	54.82946	37.64977	1.178
29_01_200915_06_08_201	<i>Ononis acetosella</i> L.	root	20200915	Pineta composita (boreo-	54.82946	37.64977	1.094
29_01_200915_06_08_301	<i>Ononis acetosella</i> L.	root	20200915	Pineta composita (boreo-	54.82946	37.64977	1.088
29_01_200915_06_08_102	<i>Ononis acetosella</i> L.	root	20200915	Pineta composita (boreo-	54.82946	37.64977	1.071
32_07_180805_07_07_101	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	leave gr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	3.399
32_07_180805_07_07_201	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	leave gr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	3.513
32_07_180805_07_07_301	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	leave gr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	3.644
32_10_180805_07_07_101	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	petiole pr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	1.29
32_10_180805_07_07_201	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	petiole pr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	1.218
32_10_180805_07_07_301	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	petiole pr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	1.281
32_10_180805_07_07_101	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	root	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	0.943
32_01_180805_07_07_201	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	root	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	0.878
32_01_180805_07_07_301	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	root	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	0.953
32_01_180805_07_07_102	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	root	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	1.337
32_01_180805_07_07_103	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	root	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	1.238
32_07_180805_07_07_102	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	leave	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	3.831
32_10_180805_07_07_102	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	petiole pr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	3.299
32_10_180805_07_07_103	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	petiole pr	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	2.264
32_13_180805_07_07_101	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	inflorescence	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	2.698
32_13_180805_07_07_201	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	inflorescence	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	3.431
32_13_180805_07_07_301	<i>Ranunculus casubicus</i> L.	inflorescence	20180805	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83626	37.62648	3.572
29_01_200915_06_11_103	<i>Ononis acetosella</i> L.	root	20200915	Pineta composita (boreo-	54.82865	37.65006	1.992
28_05_220725_07_27_101	<i>Mercurialis perennis</i> L.	stem	20220725	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83564	37.63720	1.092
28_05_220725_07_27_201	<i>Mercurialis perennis</i> L.	stem	20220725	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83564	37.63720	1.087
28_05_220725_07_27_301	<i>Mercurialis perennis</i> L.	stem	20220725	Quercus-Tiliata nemoralis-	54.83564	37.63720	1.068

Рис. 1. Фрагмент базы данных «Содержание азота в растительных образцах в регионе Южного Подмосковья»

органах (корневища, клубни, корни) 22-х доминирующих видов растений напочвенного покрова, листьях и хвое 10 основных лесообразующих видов деревьев, а также в зеленых мхах и лишайниках.

Образцы растений отбирались в течение нескольких вегетационных сезонов в хвойных, хвойно-широколиственных и широколиственных лесах. Отбор проводился на постоянных и временных пробных площадях, преимущественно в летний период, в трехкратной и более повторности. Образцы растений напочвенного покрова отбирали целиком в ценопопуляциях с высоким обилием конкретных видов. Параллельно отбирались образцы почвы (органогенный и корнеоби-таемый гумусовый горизонты), в которых также определялось содержание азота.

В лаборатории растения разбирали на органы (корни, корневища, стебли, побеги), образцы помещали в бумажные конверты и высушивали в сушильных шкафах при 60 °С до абсолютно сухого состояния, а затем измельчали до размера 0.25 мм и помещали в эппендорфы для последующего анализа. Содержание азота и углерода определяли на CHN-анализаторе в ЦКП ИФХиБПП РАН ФИЦ ПНЦБИ РАН.

Для хранения и унификации полученных данных была разработана структура базы данных (БД). Фрагмент БД представлен на рис. 1.

База данных насчитывает 1249 записей, включая уникальный номер каждого образца, дату взятия образца, координаты места исследований (WGS84), латинское название растительного сообщества, вида, название органа, массовую долю содержания азота (%). Помимо предоставления фактических данных, БД позволяет структурировать, проводить поиск и делать выборку данных по различным критериям.

База данных «Содержание азота в растительных образцах в регионе Южного Подмосковья» прошла государственную регистрацию (Свидетельство №2024622088 от 17.05.2024) и может быть использована для параметризации региональных и глобальных моделей динамики органического вещества в лесных экосистемах при разных управленческих и климатических сценариях.

Литература

- Шанин В.Н., Фролов П.В., Припутина И.В., Чертов О.Г., Быховец С.С., Зубкова Е.В., Портнов А.М., Фролова Г.Г., Стаменов М.Н., Грабарник П.Я. Моделирование динамики лесных экосистем с учётом их структурной неоднородности на разных функциональных и пространственных уровнях // Вопросы лесной науки. — 2022. — Т. 5. — № 3. — DOI: 10.31509/2658-607x-202252-112

2. Frolov P., Shanin V., Zubkova E., Bykhovets S., Grabarnik P. CAMPUS-S – The model of ground layer vegetation populations in forest ecosystems and their contribution to the dynamics of carbon and nitrogen. I. Problem formulation and description of the model // Ecological Modelling. – 2020. – Vol. 431. – P. 109184. – DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109184.
3. Frolov P., Zubkova E., Shanin V., Bykhovets S., Mäkipää R., Salemaa M. CAMPUS-S – The model of ground layer vegetation populations in forest ecosystems and their contribution to the dynamics of carbon and nitrogen. II. Parameterization, validation and simulation experiments / [et al.] // Ecological Modelling. – 2020. – Vol. 431. – P. 109183. – DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109183.

ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНЫХ ПОТОКОВ УГЛЕРОДА МЕТОДОМ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ЗА ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2024 г. НА ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ПУЩИНО»

**Кивалов С.Н., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Сапронов Д.В.,
Хорошаев Д.А., Волкова Т.Ю., Касицкий В.А.**

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино
snk2105@gmail.com

Получение количественных оценок потоков углекислого газа (CO_2) в отдельных экосистемах необходимо для понимания их роли в формировании углеродного баланса как отдельных регионов, так и природных зон в целом. Цель настоящего исследования включала сопряженный анализ первых результатов измерения экосистемных потоков CO_2 и метеорологических параметров методом турбулентных пульсаций за летне-осенний период 2014 г. на эколого-климатической станции (ЭКС) «Пущино».

Основой ЭКС служит вышка высотой 34 м, на которой установлено пульсационное (уровень 19 м) и радиометрическое (уровень 34 м) оборудование. ЭКС расположена в зоне широколиственных лесов вблизи г. Пущино в березняке разнотравном, который сформировался на участке бывшей пашни, выведенной из с/х оборота в 2002/2003 гг. Высота деревьев около 10–12 м, максимальный возраст – 16–19 лет. Используемый метод турбулентных пульсаций дает возможность напрямую измерить как чистый экосистемный обмен (NEE), через который оценивается чистая продуктивность экосистем ($\text{NEP} = \text{GPP} - \text{Re}$; $\text{NEP} \approx -\text{NEE}$), так и обширный набор других параметров, включая интенсивность солнечного излучения (SR_{dw}), скорость ветра (U), температуру (T_a) и относительную влажность (RH) воздуха, потоки чувствительного (H) и скрытого (LE) тепла. Метод требует наличия достаточного уровня турбулентности, а также достаточного уровня однородности и стационарности для корректного вычисления потоков, приходящих от подстилающей поверхности [1]. Анализ данных выполнен для летне-осеннего периода 2024 г., охватывающего почти 3 месяца (с 21 июня по 13 сентября) непрерывных измерений. Он характеризуется существенной вариабельностью значений U , T_a и RH . При этом если вариабельность скорости ветра U наблюдалась на суточном (день–ночь) и 3–4-х дневном интервалах, то вариабельность значений T_a и RH – на суточном (день–ночь) и недельном интервалах. Величина U была минимальной (< 2 м/сек) в ночное время и возрастала в дневное время (до 5–6 м/сек). Значения T_a и RH изменялись в противофазе (Таблица).

Низкие значения U , наблюдаемые в ночное время, ассоциируются с низкой турбулентностью атмосферы, которую можно оценить через величину динамической скорости (U_{star}) ветрового потока. При этом величину $U_{\text{star}} = 0.2$ можно считать порогом, ниже которого происходит некорректное определение потока углекислого газа (F_{CO_2}) из-за недостаточного уровня перемешивания и накопления парниковых газов ниже уровня пульсационной системы. Для нахождения корректных потоков произведена фильтрация данных по критериям низкое перемешивание $U_{\text{star}} \geq 0.2$ и "фотосинтез" в ночное время $F_{\text{CO}_2} \geq 0$ & $\text{SR}_{\text{dw}} \leq 0$. В результате фильтрации данных произошло значительное выпадение значений потоков в ночные и утренние периоды – около половины ночных данных было отфильтровано. Применен способ восстановления выпавших данных через моделирование процесса фотосинтеза по уровню приходящего солнечного излу-

Таблица 1. Изменчивость максимальных суточных значений метеорологических параметров (U, Ta, RH) и потоков (SRdw, H, LE, F_{CO2}) за летне-осенний период 2024 года (день / ночь)

	U [м/сек]	Ta [°C]	RH [%]	SRdw [кВт/м ²]	H [Вт/м ²]	LE [Вт/м ²]	F _{CO2} [μmol/м ² /сек]
21.06–27.06	3-4 / 0.5-2	20-23 / 11-15	22-25 / 40-45	1-1.2	100 / -25	250 / 0	-14- -10 / 2-5
28.06–4.07	2-6 / 0.5-2	24-32 / 18-22	18-22 / 40-45	1-1.2	70 / -25	350 / 0	-15- -8 / 2-5
5.07–11.07	2-4 / 0.5-2	22-27 / 13-18	20-30 / 40-47	--	100 / -25	250 / 0	-12- -10 / 2-4
12.07–18.07	2-3 / 0.5-2	25-28 / 17-20	22-25 / 44-47	--	100 / -25	230 / -25	-14- -9 / 2-5
19.07–25.07	2-4 / 0.5-2	21-23 / 13-16	23-35 / 45-60	--	100 / -25	200 / -30	-12- -9 / 2-5
26.07–1.08	2-4 / 0.5-2	18-24 / 13-16	18-40 / 45-55	--	120 / -30	200 / -100	-13- -8 / 2-5
2.08–8.08	2-3 / 0.5-2	18-24 / 13-16	27-35 / 50-60	--	120 / -25	180 / -10	-14- -9 / 2-5
9.08–15.08	2-4 / 1-3	16-23 / 11-17	25-33 / 45-48	--	100 / -30	200 / -20	-13- -8 / 2-5
16.08	2-4 / 1-3	21 / 8	20 / 40	--	70 / -25	160 / 0	-7 / 2.5
17.08–22.08	2-4 / 1-3	23-28 / 14-18	25-35 / 40-60	--	70 / -30	170 / 0	-12- -7 / 2-5
23.08–29.08	2-3 / 0.5-2	23-28 / 14-17	22-28 / 40-50	0.75-0.9	100 / -25	180 / -30	-12- -4 / 2-5
30.08–4.09	2-4 / 0.5-2	24-28 / 14-17	15-25 / 25-50	0.7-0.85	70 / -30	150 / -20	-7- -3 / 1-4
5.09–6.09	2-4 / 0.5-2	20-21 / 5-6	22 / 48	0.85	70 / -25	70 / 0	-11* - -6 / 2-6*
7.09–13.09	2-6 / 0.5-3	22-27 / 8-17	15-22 / 30-48	0.6-0.85	100 / -30	100 / 0	-10* - -3 / 1-4

Примечание. * - единичные случаи; жирный шрифт – максимальные значения; жирный курсив – резкое понижение значений

чения процессом Михаэлиса-Ментен (уравнение $F_{CO_2} \sim SRdw$), модифицированным с учетом наличия точки компенсации (r) когда дыхание экосистемы уравнивается фотосинтез:

$$F_{CO_2} \approx V * \frac{SRdw + r}{K + (SRdw + r)}$$

Полученные для различных временных периодов, характеризующихся разными интенсивностями и длительностями солнечного излучения, а также разной средней температурой, кривые чистого экосистемного обмена (уравнение $F_{CO_2} \sim SRdw$) использовались для заполнения пропущенных данных в дневное время $SRdw > 0$. Данные, пропущенные в ночное время, были оценены через величину $F_{CO_2}(SRdw = 0)$.

Анализ полученных данных показал, что оценки потока F_{CO_2} и среднесуточных величин NEE в исследуемой экосистеме были тесно связаны как с величиной $SRdw$, так и со значениями Ta . Выявлено, что после первой холодной ночи 16 августа с $Ta=8$ °C значения F_{CO_2} начали снижаться и к 30 августа они достигли около-нулевых значений, свидетельствуя о том, что экосистема практически перестала поглощать CO_2 из атмосферы. После второго периода холодных ночей (5–6 сентября) с $Ta=5–6$ °C, потоки тепла H и LE сравнялись друг с другом, что сигнализирует о сворачивании транспирации экосистемы.

На основе проведенных измерений в экосистеме березняка разнотравного постагрогенного была оценена динамика величин NEE в летне-осенний период. За июнь, июль и вплоть до 26 августа среднесуточное поглощение CO₂ (\pm STD) в экосистеме составило -2.64 ± 0.51 г С/м²/сут (разброс от -1.72 до -3.75 г С/м²/сут). Между 26 и 30 августа сток С был существенно меньше: -0.38 ± 0.49 г С/м²/сут (разброс от -1.3 до 0.56 г С/м²/сут). В сентябре поглощение CO₂ из атмосферы практически прекратилось, а значения NEE варьировали от -0.25 до 0.34 г С/м²/сут. Таким образом, предварительные оценки баланса С на зарастающей лесом пашне показали, что березняк разнотравный в течение летнего сезона 2024 г. являлся стоком С в размере 160–180 г С/м². Начало осеннего периода привело к снижению интенсивности фотосинтеза и переходу значений NEE в положительную область с балансом С близким к нейтральному.

Работа выполнена в рамках ВИП ГЗ (рег. № 123030300031-6).

Литература

- 1 Kivalov S.N., Dušek J., Czerný R., Jocher G., Pavelka M., Fitzjarrald D.R., Dařenová E., Šigut L., Kowalska N. Addressing Effects of Environment on Eddy-Covariance Flux Estimates at a Temperate Sedge-Grass Marsh // *Boundary-Layer Meteorol.* 2023. V. 186, P. 217–250.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

Остроумов В.Е. ^{1*}, Волокитин М.П. ², Шабает В.П. ¹, Быховец С.С. ¹

¹ – Институт физико-химических проблем почвоведения РАН, Пущино

² – Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино

* – v.ostroumov@rambler.ru

В.А Ковда [1] уделял большое внимание влажности почв и их водному режиму, который во многом определяет круговорот элементов, развитие почв и почвенного покрова. Данные о динамике водного режима почв используются во многих почвенных моделях, что делает необходимым её корректное математическое описание.

Для наблюдения за водным режимом на площадке комплексного почвенно-климатического мониторинга с 2020 г проводятся измерения влажности почвы и потенциала почвенной влаги. Площадка расположена на открытом участке с разнотравной растительностью. Серая лесная почва участка сформирована на покровном суглинке. Участок однороден по составу растительного покрова и почвенным свойствам и располагается на горизонтальной поверхности. Водный режим почвы характеризуется как периодически промывной. В разрезе можно выделить четыре гидрологических горизонта. Первый совпадает с гумусовым на глубине 0 – 16...20 см, второй – с элювиальным горизонтом с фрагментами гумусовых веществ (20...50 см), третий – элювиальный (50 ... 90 см) и четвертый переходящий к почвообразующей породе (90 – 150 см). Эти горизонты характеризуются различными гидрологическими свойствами. Первый хорошо впитывает и пропускает воду и при высоких температурах быстро иссушается. Второй имеет неблагоприятную структуру и высокую плотность. Поэтому фильтрация в нем затруднена. Третий горизонт при наличии ореховатой структуры и обильной кремнеземистой присыпки на гранях структурных отдельностей сбрасывает воду в нижележащий горизонт. В результате происходит пополнение влаги в подстилающих горизонтах. В отдельные влажные годы на глубине 150 см и ниже образуется верховодка, которая приводит к дополнительному увлажнению почвы.

Измерения потенциала почвенной влаги выполняются датчиками Watermark Soil Moisture Sensor [3], которые подключены к логгеру Watermark Monitor [2]. Датчики установлены в поверхностном слое почвы и на глубинах 20, 40, 80 и 150 см. Перед установкой в почву датчики потенциала прокалиброваны в лаборатории на образцах почвы наблюдательной площадки с целью корректного определения влажности по данным измерений потенциала почвенной влаги.

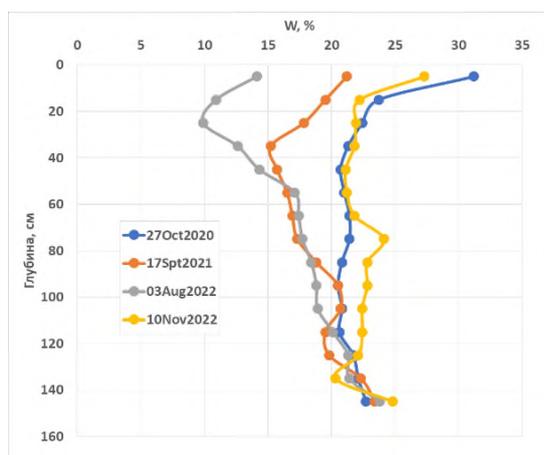


Рис. 1. Весовая влажность почвы по данным термовесовых определений

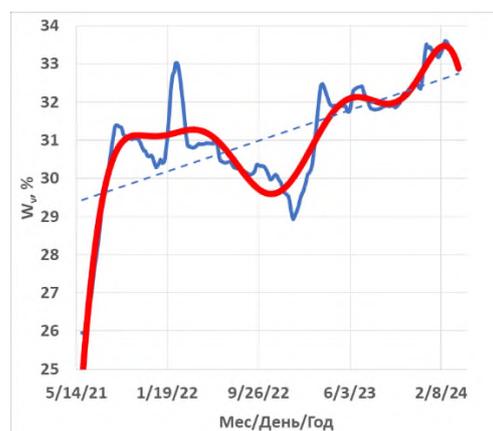


Рис. 2. Периодические изменения влажности почвы – аппроксимация скользящих среднегодовых значений

Значения потенциала почвенной влаги на всех глубинах измеряются и записываются в память логгера один раз в час. Среднегодовые скользящие значения потенциала аппроксимировали монотонными и периодическими функциями с целью характеристики тенденций ее динамики. Для контроля данных автоматизированного мониторинга на этой же площадке 4-6 раз в год влажность почвы определяется термовесовым методом в образцах, получаемых в скважинах с 10-см шагом до глубины 150 см.

Данные термовесовых определений показывают, что в годовом цикле весовая влажность почвы изменяется вокруг среднего значения 21-24% с наибольшей амплитудой 19-24% на поверхности почвы. С глубиной амплитуда изменений влажности снижается до 4 - 5% на глубине 140-150 см (рис. 1). По данным единовременных определений весовой влажности почвы в скважинах, пробуренных в разных точках, распределения влажности незначительно отличаются друг от друга. Это отражает однородность участка. Различия между распределениями влажности почвы, которые относятся к разным срокам, характеризуют динамику влажности. Во временных рядах наблюдается тенденция к повышению влажности. Однако, межгодовые изменения влажности почвы, определяемой по эпизодическим термовесовым замерам, маскируются сезонными колебаниями. Для оценки общей тенденции целесообразно рассмотрение более детальных данных, полученных в результате автоматизированного мониторинга.

Эпизодические измерения влажности почвы термовесовым методом позволяют получить общую картину динамики. Для ее детализации мониторинг дополняется ежечасными измерениями потенциала почвенной влаги. Динамика потенциала воспроизводит сезонные изменения влажности, наблюдаемые по данным термовесовых измерений. Это подтверждает корректность использования регистрации потенциала для характеристики динамики влажности. Вместе с тем динамика потенциала отражает такие важные детали изменения влажности во времени, как иссушение при отсутствии осадков, переувлажнение в моменты интенсивных ливней и при снеготаянии, перераспределение влаги при эпизодическом подъеме уровня грунтовых вод.

Динамика влажности почвы в слое 0 – 40 см удовлетворительно аппроксимируется периодической функцией вида $W_v(\tau) = a_1 \cdot \sin(b_1 \cdot \tau + c_1) + \dots + a_n \cdot \sin(b_n \cdot \tau + c_n)$, где τ - время (рис.2). При числе слагаемых в этом ряду $n = 4$ коэффициент детерминации составляет 0,887. Периодические изменения влажности почвы отражают колебательный характер динамики на фоне общей тенденции к ее увеличению в многолетнем ряду.

Литература

1. Ковда В.А. Проблемы защиты почвенного покрова и биосферы планеты. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1989, 156 с.
2. Watermark Monitor – 900M. LITO USA, 7/21, #409.
3. Watermark Soil Moisture Sensor – Model 200SS. LITO USA, 7/16, #403.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ ПОЧВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ– КЛАССИФИКАЦИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ

Пивоварова Е.Г.

Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул, Красноармейский проспект, 98,
pilegri@mail.ru

О почвообразовательных процессах, протекающих в профиле почв мы часто судим по вещественным артефактам (свойствам) почв и их изменении в вертикальном направлении профиля. Однако почвенное разнообразие, вариабельность свойств затрудняет выявление закономерностей. В частности, Алтайский край отличается значительным разнообразием почв. Решение этой проблемы возможно с помощью математического моделирования. Цель данного проекта – разработка количественных критериев для выделения типичных, редких и уникальных почв исследуемой территории [4,5]. Для этого использовали региональный подход. Поскольку на территории Алтайского края выделяют 44 почвенных района [6], разработка региональных эталонов почв проводилось для каждого почвенного района.

Объекты и методы. Для разработки математических моделей использованы материалы последнего крупномасштабного почвенного обследования АлтайНИИГипрозем за 1990-2000 гг. Информационно-логический метод [7] использован для разработки количественных моделей региональных эталонов почв. Основными параметрами информационного анализа являются специфические (наиболее вероятные состояния) свойств региональных эталонов почв и коэффициент эффективности передачи информации $K_{эф}$, отражающий степень связи между свойствами почв и их принадлежности к определенной таксономической группе.

Для диагностики почв, так называемых «классификационных соседей» [8], были разработаны качественно-количественные математические модели, позволяющие по набору количественных параметров определить к какой классификационной группе принадлежит почва.

Результаты и обсуждение. Почвообразовательные процессы отражаются на морфологических и физико-химических свойствах в профиле почвы. Поскольку объем первичных данных был ограничен, наиболее полную выборку мы получили для верхних горизонтов почв, что не являлось существенным ограничением, поскольку современные агрогенные процессы в основном протекают именно в верхних горизонтах. Они отражают те изменения, которые происходят сегодня: агроистощение, дефляция, эрозия и т.п. Профильное изменение свойств, полученное в количественной модели регионального эталона агрокаштановой почвы 4 почвенного района (ПР) демонстрирует современные процессы, а именно развитие дефляции, в результате которой отмечается облегчение гранулометрического состава, илистой (Ил, %) фракции и физической глины (Фг, %) в пахотном горизонте, по сравнению с подпахотным (табл. 1).

Отмечается тенденция агроистощения почвы по содержанию подвижных питательных веществ – подвижного фосфора (P_2O_5 , мг/100 г почвы) и обменного калия (K_2O , мг/100 г почвы).

Таблица 1. Специфические состояния региональных свойств эталона агрокаштановой почвы 4 почвенного района

Почва	Горизонт	М	Г	pH	S	P_2O_5	K_2O	Ил	Фг
АК	ПУ	30-40 (4)	2,5- 3,5	7,0- 8,0	30,0- 35,0	<20,0	30,0- 40,0	20,0- 25,0	25,0- 35,0
	АЖ		2,0- 3,0	7,0- 8,0	20,0- 30,0	15,0- 25,0	35,0- 40,0	>25,0	35,0- 40,0
	ВМК		<2,0	7,1- 7,5	< 20,0	<15,0	<20,0	20,0- 25,0	-

Примечание: М – мощность горизонта, Г – содержание гумуса.

Это проявляется в изменении аккумулятивного характера накопления биогенных элементов (в горизонте PU их содержание меньше или на уровне темногогумусового AU), что связано со значительным выносом питательных веществ урожаем и недостаточным использованием минеральных удобрений.

В России в равной степени используются две классификационные системы [1, 2], обе они построены по генетическому принципу, но субстантивная классификация включает еще и агрогенные почвы, в которых более выражены современные процессы почвообразования. Выбор классификационной системы для разработки математических моделей региональных эталонов почв определил ведущие факторы в качественно-количественных моделях (I, II). В первом случае – это факторы, отражающие основной (дерновый) процесс – содержание поглощенного кальция, гумуса, pH_v . Во втором – помимо факторов дернового процесса, еще и фактор агрогенного процесса, а именно – мощность гумусового горизонта. В 4 почвенном районе «классификационными соседями» являются лугово-каштановые и солонцеватые почвы по профильной классификации [1], и агроземы, агроабраземы – по субстантивной [2]. Их можно идентифицировать, используя качественно-количественные модели:

$$ТП^{4ПР}_{1977} = Ca^A * Ил^{Ап} * (pH_v^{Ап} * \Gamma^A) \quad (I)$$

$$ТП^{4ПР}_{2004} = Ca^{PU} * Ил^{PU} * M * (pH_v^{PU} * K_2O^{PU}) \quad (II)$$

где, ТП – тип почвы регионального эталона 4 ПР для классификации 1977 г. и 2004 г., соответственно; Ca^A , $Ил^A$, $pH_v^{Ап}$, Γ^A , K_2O^A , M – ранги содержания поглощенного кальция, илистой фракции, pH , гумуса, обменного калия, мощности горизонтов А или А пахотного (PU).

Полученные математические модели региональных эталонов почв представляют собой цифровую базу данных для решения различных прикладных задач, оценки уровня экологического состояния почв [9] и управления почвенным плодородием [3].

Литература

1. Классификация и диагностика почв СССР. – Москва: Колос, 1977. – 223 с.
2. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
3. Левич АП, Булгаков НГ, Максимов ВН. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИИ-Природа. 2004. – 225с.
4. Пивоварова Е.Г., Федченко Л.А. Агрохимические свойства в решении теоретических проблем классификации почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (197). С. 39–47.
5. Пивоварова Е.Г., Федченко Л.А. Региональные эталоны почв как индикаторы агрогенной трансформации их агрохимических свойств / Аграрная наука – сельскому хозяйству. С. 282-284.
6. Почвы Алтайского края. М. Изд-во АН СССР, 1959. – 382с.
7. Пузаченко Ю.Г., Карпачевский Л.О., Взнуздаев Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности / В кн.: Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. – С. 103-121.
8. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск, 2004. –296 с.
9. Федченко Л.А., Пивоварова Е.Г. Обоснование уровня экологического состояния агрогенных почв умеренно засушливой степи Алтайского края на основе региональных эталонов / Почвы и окружающая среда. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященная 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 2023. – С. 202-206.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЧВЕННЫХ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ПРИ ЗАРАСТАНИИ ПАШНИ ЛЕСОМ В ЮЖНОМ ПОДМОСКОВЬЕ

Припутина И.В.¹, Шанин В.Н.^{1,2}, Фролов П.В.¹, Быховец С.С.¹, Курганова И.Н.¹,
Фролова Г.Г.¹, Портнов А.М.¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, 142290 Пущино, Институтская 2

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,
117997 Москва, Профсоюзная 84/32

priputina@pbcras.ru

Начальные этапы постагрогенного зарастания пашни лесом отличаются значительным пространственным варьированием почвенно-растительных условий, что влияет на последующую динамику пулов и потоков углерода и его нетто-баланс. Результаты мониторинговых исследований, в силу их трудоемкости, позволяют получить количественные оценки для относительно небольшого числа репрезентативных экосистем [3]. В этой связи возрастает роль имитационного моделирования как инструмента, позволяющего прогнозировать изменение пулов и потоков углерода в постагрогенных экосистемах с учетом многообразия их структуры, для анализа которой в последние годы активно применяются дистанционные методы [6].

Подобные модельные оценки выполнены для залежных участков серой лесной почвы в подзоне широколиственных лесов на юге Московской области. Объект исследования – территория опытно-полевой станции (ОПС) ИФХиБПП РАН, разные участки которой выводились из севооборотов, начиная с начала 1980-х годов, что привело к их зарастанию луговой и лесной растительностью [1, 2].

Вычислительные эксперименты выполнены на основе системы моделей EFIMOD3, которая позволяет моделировать сопряженную динамику биогенных циклов С и N в лесных экосистемах [5]. Имитационные сценарии постагрогенной трансформации агрогодий соответствовали трем вариантам формирующихся на ОПС лесных сообществ: 1 – с древостоем из мелколиственных видов с доминированием *Betula* spp. (формула древостоя 9Б1Ос); 2 – сосновых древостоев из *Pinus sylvestris* (10С); 3 – смешанных хвойно-мелколиственных древостоев (7СЗБ). Необходимые для моделирования таксационные характеристики древостоев разного возраста и данные о напочвенном покрове были получены авторами в ходе полевых исследований разных лет и частично опубликованы [4]. Дополнительно моделировали динамику пулов и потоков С в почве под луговой растительностью, которая на ОПС представлена несколькими сукцессионными стадиями [1]. Почвенные гидротермические условия для всех сценариев моделировали с использованием реальных данных о температуре воздуха и количестве осадков за 1975-2015 гг. Годом «забрасывания» пашни выбран 1980 г., период моделирования – 35 лет. Верификация результатов проведена по данным многолетних полевых измерений почвенного дыхания (С-СО₂) и запасов С_{орг} (ПОВ) на участках ОПС под луговыми и лесными сообществами разного возраста.

Результаты. Запасы ПОВ при зарастании пашни мелколиственным лесом (сценарий 1) возрастают примерно на 1.5 кг С м² за модельный период. Рост почвенного пула С_{орг} под молодым древостоем связан, преимущественно, с формированием органогенного горизонта подстилки. Сравнение полученных результатов с данными изменений ПОВ под луговыми сообществами соответствующих возрастов показало их схожую динамику, а запасы подстилки под лесом, начиная с возраста древостоя 5-7 лет, примерно в 1.5-2 раза выше, чем в травянистых сообществах.

Для зарастаний сосной (сценарий 2) модельные оценки показывают относительное снижение первоначальных запасов ПОВ в первые 10-15 лет после начала формирования древостоя, когда поступление растительного опада не компенсирует потери С_{орг} за счет процессов минерализации. В дальнейшем, углеродный пул почвы восстанавливается, а за счет образующейся под сосной хвойной подстилки (активность минерализации которой ниже чем у

березовой листвы) суммарный запас ПОВ возрастает к концу 35-летнего периода примерно на 2 кг С м².

Динамика запасов углерода в горизонте подстилки, формирующейся после зарастания пашни сосной и березой (сценарий 3), определяется количественным соотношением числа деревьев этих видов. Для рассмотренного нами варианта 7СЗБ, до возраста древостоя примерно 20 лет изменение запасов углерода в подстилке схоже с данными, полученными для зарастаний березой, а на последующем временном отрезке – с данными сценария с сосной. Динамика запасов $S_{орг}$ в органоминеральной части почвенного профиля под хвойно-мелколиственным древостоем в течение всего моделируемого отрезка времени схожа с данными, полученными для зарастаний березой, несмотря на то, что береза не доминирует в видовой структуре данного сообщества.

Основной фактор неопределенности полученных модельных оценок связан с данными по запасам биомассы и фракций опада напочвенного покрова, вклад которого в круговорот углерода особенно важен в первые 5-10 лет постагрогенного функционирования почв. В работе были использованы материалы изучения видового состава и продуктивности фитоценозов разных стадий зарастаний, полученные в ходе исследований на ОПС, которые не позволяют учесть влияние погодных условий конкретных лет на продукцию фитомассы и интенсивность минерализации растительных опавов и ПОВ.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН, рег. номер 122040500037-6 и 122111000095-8.

Литература

1. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. и др. Физические свойства и изменение запасов углерода серых лесных почв в ходе постагрогенной эволюции (юг Московской области) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 345-353.
2. Курганова И.Н., Ермолаев А.М., Лопес де Гереню В.О. и др. Баланс углерода в почвах залежей Подмосковья // Почвоведение. 2007. № 1. С. 60-68.
3. Куричева О.А., Авилов В.К., Варлагин А.В. и др. Мониторинг экосистемных потоков парниковых газов на территории России: сеть gflux // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 512-535.
4. Фролова Г.Г., Изотова К.Н. Взаимосвязь освещенности, пространственного распределения живого напочвенного покрова и естественного древесного возобновления на залежах юга Московской области / Живые системы - 2023: Сборник научных статей II Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой десятилетию восстановления экосистем (2020-2030), Саратов, 06–10 ноября 2023 г. Саратов: СГУ, 2023. С. 130-132.
5. Шанин В.Н., Фролов, П.В., Припутина И.В. и др. Моделирование динамики лесных экосистем с учётом их структурной неоднородности на разных функциональных и пространственных уровнях // Вопросы лесной науки. 2022. № 5(3). С. 96-289.
6. Portnov, A., Shubin, A., Frolova, G. The effect of pre- and post-processing techniques on tree detection in young forest stands from images of snow cover using YOLO neural networks // European Journal of Forest Engineering. 2024. №2. ejfe1462335.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГЕОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Червань А.Н.

Белорусский государственный университет

Изучение структуры почвенного покрова (СПП) позволяет определить закономерности пространственного распределения почв в связи с особенностями факторов дифференциации почвенного покрова. В практическом отношении анализ СПП необходим для системной типизации

Таблица 1. Уровень практического использования информации о СПП

Уровень геосистемы	Масштаб исследования	Уровень использования почвенно-земельных ресурсов
Мегакомбинация почвенного покрова	1:1000000 и мельче	Направление использования (сельскохозяйственное, лесохозяйственное, природоохранное, прочее)
Макрокомбинация	1:100000 - 1:1000000	Тип использования (пахотное, луговое, лесное, прочее)
Мезокомбинация (тип земель)	1:10000 - 1:100000	Вид использования с мелиоративными, противозерозийными и др. мероприятиями
Микрокомбинация почвенного покрова	крупнее 1:10000	Интенсивность вида использования

почвенного покрова и выделения участков землепользования [3], что особенно важно в сложных геоморфологических и литологических условиях почвообразования в зависимости от масштаба исследования (табл. 1). Результаты оценки коэффициента неоднородности (КН) СПП Беларуси в соответствии с показателями неоднородности позволили выделить группы почвенных комбинаций (ПК) по направлениям хозяйственного использования почвенных и земельных ресурсов [6].

Каждая геосистема, идентифицированная по ПК, отображает рельеф, геоморфологические условия, состав и строение почвообразующих пород, характер естественной растительности (реальной или восстановленной по комплексу природных факторов), почвенный покров, для которого определяется показатель, средневзвешенный бонитировочный балл почвенного плодородия, потребность в регулировании водного режима, опасность эрозии (дефляции), устойчивость к химическому загрязнению. Разработанные принципы геоинформационного описания почвенного покрова в структуре базы данных агроэкологического состояния почвенного покрова Беларуси предусматривают геоинформационные алгоритмы привлечения факторного анализа влияния природных, природно-антропогенных и антропогенных условий на производительную способность почвенно-земельных ресурсов, технологию оценки агроэкологической неустроенности сельскохозяйственных организаций, условно представляющих собой агроландшафты [4, 5]. На основе подробных агроландшафтных исследований и изучения природных геосистем почвенно-экологических районов, руководствуясь принципами системного подхода, составляются среднемасштабные карты геосистем административных районов.

Геосистемы являются основными носителями качественной и количественной информации о состоянии природных ресурсов в границах каждой ПК, что позволяет говорить о них, как об инвариантах почвенно-земельных ресурсов с качественными различиями устойчивости к процессам деградации земель. Неоднородность почвенного покрова выступает обратно пропорциональным критерием возможности снижения проявления деградации почв и земель, например, зарастания древесно-кустарниковой растительностью или постмелиоративной деградации [9]. Кроме того, неоднородность СПП может служить показателем педо- и биоразнообразия [10]. Агрегированные в ГИС значения КН СПП на основе геосистемного подхода позволили сформировать представления о естественном разнообразии экосистем в границах наименее подверженной антропогенному влиянию территории Беларуси.

В сельскохозяйственном секторе экономики на основе использования геосистемного подхода достигается согласованность существующих подходов к оценке состояния почвенно-земельных ресурсов и экологическому нормированию нагрузок на почвенный покров в разных сценариях землепользования [4, 5, 8]. Это позволяет создать пространственную основу потенциального землепользования в агроландшафтах в соответствии с закономерно организованными ПК и определить первоочередные мелиоративные приемы эффективного ведения сельскохозяйственной деятельности: дифференцированное внесение удобрений, регулирование водного режима и другие.

В Беларуси в условиях последовательных туров почвенных обследований с составлением крупномасштабных почвенных карт на территорию каждого района и сельскохозяйственной организации действует методика идентификации ПК по комплексу естественных условий почвообразования, ко-

торые могут выступать агроэкологическими типами земель, а с точки зрения автоматизированной обработки в базе данных – в качестве операциональных единиц. Весь комплекс расчетных операций проводится в топологической ГИС среде. Грид-представление информации слоев данных делает возможным использование функций картографической алгебры, а именно сложение и произведение ячеек растровых изображений. Моделирование и расчеты выполняются при помощи геоинформационного инструментария.

Для осуществления пространственного анализа каждой ПК присвоен индекс – кодификатор на основе критериев выделения почвенных комбинаций. Так, индекс “1.2.2.3” декодируется как водораздел выпуклый, низкий на двучленных почвообразующих породах с водоупором, характеризуется формулой почвенной комбинации $ДП^{10}+ДПБ_1^{65}+ДПБ_2^{15}+ТН^{10}$, то есть в структуре почвенного покрова 10 % занимают дерново-подзолистые, 65 % – дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные, 15 % – дерново-подзолистые глееватые и 10 % – торфяно-болотные низинного типа почвы. Это означает, что данный участок представляет собой невысокое повышение с пологими склонами, сложенное моренно-зандровыми отложениями, средне расчлененное неглубокими ложбинами стока.

Генетически обусловленная номенклатура ПК с количественной оценкой качественных признаков и картометрических показателей СПП обеспечивает геосистемную инвентаризацию типов земель – первичных единиц кадастрового учета и оценки. В частности, выполнены ориентировочные расчеты продуктивной способности ПК для оценки почвенно-ресурсного потенциала СПП сельскохозяйственных земель.

Анализ СПП в формате базы данных при оценке систем природопользования снимает вопросы масштаба и в сочетании с данными дистанционного зондирования может служить не только для определения почвенно-ресурсного потенциала геосистем, но также стать основой для мониторинга использования природных (в первую очередь, земельных) ресурсов и имитационного моделирования, что позволяет делать прогнозы относительно состояния геосистем при изменении сценария землепользования. Имеются соответствующие исследования как на уровне административных районов [5], так и в региональном масштабе на территории республики.

Геосистемный подход в полной мере реализуется в одноименном блоке автоматизированного учета состояния почвенно-земельных ресурсов по принципам геоинформационного описания структуры почвенного покрова в ранге микро- (идентификация по крупномасштабным планово-картографическим материалам) и мезокомбинаций (масштаб растровой основы не крупнее 1:25000). Соподчиненность СПП оценивается с использованием данных кадастрового учета земель, материалов актуального тура почвенных обследований и параметров цифровой модели рельефа на территории пилотных эрозионно опасных и мелиорированных агроландшафтов.

Идентифицируемые критерии состояния почвенного покрова должны обеспечивать точность разработки тематических классификаторов, создаваемых в результате процедуры обучения в ходе дешифрирования ДДЗ [7]. Для создания классификатора необходимы обучающие выборки (сигнатуры), автоматизированное информационное обеспечение которых возможно с привлечением баз топографических данных, сведений ЗИС (особенно цифровых почвенных слоев) и геопортала [1]. Критерии состояния почвенного покрова, которые могут быть использованы с целью обоснования сигнатур в тематических классификаторах растительности, должны обладать репрезентативностью – соответствием спектрального образа участка изображения какому-либо объекту либо его свойству. Репрезентативность обучающих выборок обеспечивается крупномасштабным ЦПК и типологической принадлежностью почвенных таксонов на разном уровне классификации [2]. Формализация дешифровочных признаков подразумевает определение пороговых значений для каждого класса, который зависит от четкости пространственных границ объекта. В данном случае цифровая ЦПК может являться хорошим жестким разграничителем природных условий произрастания растительности (и наоборот) и формирования соответствующих пороговых значений спектральной яркости.

Литература

1. Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gismap.by/>. – Дата доступа 25.04.2024.

2. ГИС-технологии: учебно-методическое пособие / Д.М. Курлович, Н.В. Жуковская, О.М. Ковалевская. БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. почвоведения и ГИС. Минск: БГУ, 2020. 309 с.
3. Горкунов В.А. Структура почвенного покрова пахотных земель северо-восточной части Беларуси как основа оптимального землепользования: автореф. дис. д-ра с.-х. наук, Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск, 2006. 38 с.
4. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: Колос, 2011. 443 с.
5. Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии», 2019. 18 с.
6. Романова Т.А., Червань А.Н., Андреева В.Л. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2011. № 3. С. 300–310.
7. Савин И.Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий: автореф. дис. д.г.н. Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. М., 2004. 246 с.
8. ТКП 17.03-04-2014 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Предотвращение деградации и восстановление деградированных мелиорированных сельскохозяйственных земель. Общие положения.
9. Червань А.Н. Картографическое обеспечение управляемого адаптивно-ландшафтного земледелия в агроландшафтах Беларуси // Агрофизика. 2022. № 1. С.21-29. DOI: 10.25695/AGRPН.2022.01.04.
10. Червань А.Н., Мельник В.Б., Яцухно В.М. Оценка и внутрорегиональные различия уязвимости почв сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья к засухам в условиях потепления климата // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2022. Т.66. № 4. С. 444-453. DOI: 10.29235/1561-8323-2022-66-4-444-453.
11. Chervan A.N., Kindeev A.L., Sazonov A.A. Soil Cover Patterns and Pedo- and Biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. № 10. pp.1348-1359. DOI: 10.1134/S1064229322100027.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абдурашидова П.А., 101
Азнаева М.Р., 123
Александров Г.А., 172
Александров Г.Г., 173
Александров Н.А., 2
Алексеев А.О., 51, 79
Алексеева М.А., 3
Алексеева Т.В., 51, 52, 79
Алябина И.О., 107
Андроханов В.А., 89
Арбузова Е.А., 47
Асгерова Д.Б., 101
Аскарова Д.А., 116
Атрощенко Ю.М., 144
- Бабынин Э.В., 138
Баранчуков В.С., 5
Бахматова К.А., 54
Башкин В.Н., 117
Белеванцев В.Г., 96
Бембеев С.Б., 151
Березкин В.Ю., 5, 126
Бобровский М.В., 42, 56
Большеченко А.А., 144, 155
Бондаревич Е.А., 141
Борисов А.В., 57, 99
Бочарникова Е.А., 22
Бурачевская М.В., 144
Быховец С.С., 182, 186
- Васенев В.И., 61
Васильева Г.К., 119, 131
Вашукевич Н.В., 59
Волкова Т.Ю., 17, 180
Волокитин М.П., 159, 182
- Галимова А.Р., 138
Гаршин М.В., 121
Герцен М.В., 144
Гинзбург А.П., 164
Глаз Н.В., 176
Глебов В.В., 116
Гоголашвили Э.Л., 138
Головин М.Л., 5
Голубятников Л.Л., 173
Горбач Н.М., 29
Горбачева А.Ю., 174
Губин С.В., 61, 167
Гунина А.А., 61
- Давыдова А.А., 72
Данилевская В.И., 56
Данилин И.В., 24
- Данилов П.П., 166
Данилова В.Н., 5
Дворников Ю.А., 40
Демидов В.Э., 63
Добровольская В.А., 174
Добровольская М.В., 56
Долгих А.В., 168
Долгушина Е.А., 61
Дорофеев Н.В., 30
Дударова Д.Г., 123
Дымов А.А., 29
- Евстафьева Е.В., 162
Ергина Е.И., 106
- Жарких И.А., 64
Желновакова В.А., 101
Жученко Н.А., 136
- Завалишин Н.Н., 173
Зазовская Э.П., 168
Залибеков З.Г., 103
Залибекова М.З., 103
Занилов А.Х., 123
Занина О.Г., 69, 169
Захарова И.А., 176
Зинякова Н.Б., 17, 43
Зорина С.Ю., 30
Зубкова Е.В., 178
Зубкова Т.А., 65
- Иванищев В.В., 155
Иващенко К.В., 40
Инишева Л.И., 67
Иовчева А.Д., 124, 146
- Калеро Эррера В.К., 126
Калинин П.И., 69, 104, 166
Касаткина Г.А., 109
Касицкий В.А., 180
Каширская Н.Н., 70, 72
Квиткина А.К., 6
Кивалов С.Н., 17, 21, 45,
180 Кирюшин А.В., 65
Ковалев И.В., 8, 10
Ковалева Н.А., 169
Ковалева Н.О., 8, 10 Ковда
И.В., 73
Козак С.О., 144
Козлова А.А., 134
Козьменко С.В., 144
Колмыкова Л.И., 5
Колупаева В.Н., 127
Корж В.Д., 75

- Корчагина И.А., 129
 Корытина М.А., 61
 Костин А.С., 5
 Красильников П.В., 11
 Кудяров В.Н., 12
 Кудреватых И.Ю., 69, 104
 Кузнецова Т.В., 15
 Кузяков Я.В., 30
 Куприянов Д.А., 56
 Курганова И.Н., 17, 21, 30, 43, 45, 180, 186
 Кутузова Е.А., 84
- Лапушкин М.Ю., 131
 Лебедева М.П., 76, 78
 Лебедева Т.Н., 17
 Леонов Д.А., 49
 Ливанова А.Д., 136
 Липатов Д.Н., 19
 Личко В.И., 17
 Лопатина Д.А., 169
 Лопатовская О.Г., 133, 153
 Лопес де Гереню В.О., 17, 21, 30, 43, 45, 180
 Лопухов П.М., 176
 Лупачев А.В., 164, 166
 Людвиг У.И., 134
- Макеев А.О., 76, 78
 Максимова Е.Н., 153
 Малышев В.В., 51, 79, 166
 Манахов Д.В., 19
 Манжикова А.В., 151
 Манучарова Н.А., 37
 Мартынова Д.О., 136
 Мартынова Н.А., 136
 Матвеева Н.В., 24
 Матыченков В.В., 22
 Маханцева В.А., 17
 Мергелов Н.С., 168
 Мёртон Дж., 166
 Мешалкина Ю.Л., 174
 Милановский Е.Ю., 24
 Миндубаев А.З., 138
 Минзанова С.Т., 138
 Минникова Т.В., 139
 Митенко Г.В., 104
 Митрохина Е.С., 17
 Михайлова Л.А., 141
 Мокиевский Н.В., 78
 Мусалаева П.Д., 103
 Мусаян Р.Э., 76
 Мякшина Т.Н., 21
- Нагоева М.З., 123
 Надпорожская М.А., 26
 Нестерук Г.В., 27
 Никонов А.В., 178
 Новицкий М.Л., 106
- Овчинников А.Ю., 81
 Орлова Е.Е., 142
 Орлова Н.Е., 142
 Орхокова Е.А., 136
 Остроумов В.Е., 159, 182
- Панин П.Г., 69, 83
 Паюсова И.В., 29
 Первушина А.Н., 49
 Переломов Л.В., 144, 155
 Пивоварова Е.Г., 184
 Пинский Д.Л., 24, 124, 146
 Пинской В.Н., 84, 99
 Плеханова Л.Н., 85
 Поляков Д.Г., 73
 Портнов А.М., 186
 Потапова А.В., 87
 Припутина И.В., 178, 186
 Присяжная А.А., 36
 Приходько В.Е., 148
- Решоткин О.В., 107
 Родин П.Р., 144
 Романенков В.А., 174
 Русаков А. В., 64, 78
 Русаков А.В.,
 Рябуха А.Г., 73
- Салова Т.Л., 96
 Самофалова И.А., 150
 Самохина Н.П., 30, 47
 Сангаджиева Л.Х., 151
 Сангаджиева О.С., 151
 Санчай-оол Б.В., 153
 Сапронов Д.В., 17, 21, 32, 43, 45, 180
 Севергина Д.А., 29
 Седов С.Н., 89
 Семенов И.Н., 124
 Семенов А.М., 91, 92
 Семенов В.М., 17, 34
 Семенов М.В., 3
 Семенова Е.Е., 92
 Сиголаева Т.Е., 155
 Сидорова И.Я., 10
 Симонова Ю.В., 109
 Смирнов А.Л., 56
 Смирнов В.Э., 42
 Смирнов Н.С., 6
 Смирнова К.А., 142
 Смирнова Ю.Д., 157
 Снакин В.В., 36
 Собисевич А.В., 111
 Соколов Д.А., 17, 40
 Соколова Л.Г., 29
 Соловьев Д.А., 157
 Соляной А.В., 96
 Сохорова З.В., 151
 Сошникова Е.А., 37

Спирина Е.В., 168
Старцев В.В., 29
Степанов А.Л., 37
Стрижакова Е.Р., 131
Суханова Н.И., 65
Сушко С.В., 40

Тананаев Н.И., 166
Таов Р.Х., 123
Толстоусова С.А., 26
Топорков И.Н., 49
Тулина А.С., 38

Убугунов Л.Л., 112, 114
Убугунова В.И., 114
Удальцов С.Н., 15
Упорова М.А., 47

Фарходов Ю.Р., 24
Филимоненко Е.А., 30, 40, 47
Фомичева Н.В., 157
Фролов П.В., 186
Фролова Г.Г., 186

Ханина Л.Г., 42, 56
Ходжаева А.К., 17, 43
Хорошаев Д.А., 17, 21, 43, 45, 180

Чарыкова М.В., 109
Чаусова Е.Е., 47
Чевердин А.Ю., 148
Чевердин Ю.И., 148

Чевычелов А.П., 94
Чендев Ю.Г., 96
Червань А.Н., 187
Чернышева Е.В., 98
Чесунов А.В., 167
Чурилин Н.А., 76

Шабает В.П., 159,
Шабает В.П., 182
Шадриков И.Г., 63
Шаев И.А., 84, 99
Шанин В.Н., 186
Шарый П.А., 146
Шаталина Л.П., 176
Шатилович А.В., 167
Шахназарова В.Ю., 142
Шварцева О.С., 49
Швецов С.Г., 161
Шейнкман В.С., 89
Шешукова А.А., 54
Шик А.Ю., 61
Шишков В.А., 168
Шулико Н.Н., 129

Щеглов А.И., 19

Юмашев Х.С., 176
Юртаев А.А., 49

Ярославцев А.М., 2
Ясенева Е.В., 162

СОДЕРЖАНИЕ

РОЛЬ ПОЧВЫ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ ЭЛЕМЕНТОВ. УГЛЕРОД И КЛИМАТ

Александров Н.А., Ярославцев А.М. Оценка продукционного процесса ярового ячменя методом турбулентных пульсаций в условиях полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева	2
Алексеева М.А., Семенов М.В. Влияние сельскохозяйственного использования на микробиологические свойства черноземов и каштановых почв	3
Березкин В.Ю., Баранчуков В.С., Головин М.Л., Данилова В.Н., Колмыкова Л.И., Костин А.С. Факторы, определяющие дефицит йода в почвах сельскохозяйственного назначения некоторых областей ЦФО РФ	5
Квиткина А.К., Смирнов Н.С. Взаимосвязь видового разнообразия напочвенного покрова и свойств почвы еловых лесов Печоро-Ильчского заповедника	6
Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Роль лигниновых структур в секвестрации и депонировании углерода в почвах	8
Ковалева Н.О., Сидорова И.Я., Ковалев И.В. Почвы и культурные слои геoarхеологических памятников Белгородской оборонительной черты как индикаторы динамики природной среды	10
Красильников П.В. Биогеохимия почвенного покрова: история и современность (памяти В.А. Ковды)	11
Кудяров В.Н. Шестидесятилетнее изменение климата и баланс углерода в земледелии РФ	12
Кузнецова Т.В., Удальцов С.Н. Соотношение минерализуемых пулов углерода и азота в погребенных и современных каштановых почвах	15
Курганова И.Н., Маханцева В.А., Лебедева Т.Н., Лопес де Гереню В.О., Кивалов С.Н., Волкова Т.Ю., Ходжаева А.К., Сапронов Д.В., Хорошаев Д.А., Соколов Д.А., Зинякова Н.Б., Митрохина Е.С., Личко В.И., Семенов В.М. Оценка основных пулов и потоков углерода в экосистеме постагрогенного березового леса на эколого-климатической станции «Пушино»	17
Липатов Д.Н., Манахов Д.В., Щеглов А.И. Запасы органического углерода в торфяных олиготрофных и эутрофных почвах острова Сахалин	19
Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Хорошаев Д.А., Кивалов С.Н.	21

Анализ временной вариабельности и эмпирическое моделирование эмиссии CO ₂ из почв лесных экосистем южного Подмосковья на основе 25-летних непрерывных наблюдений	
Матыченков В.В., Бочарникова Е.А.	22
Современное развитие идей В.А. Ковды о роли соединений кремния в почве и в системе «почва–растение»	
Милановский Е.Ю., Пинский Д.Л., Фарходов Ю.Р., Матвеева Н.В., Данилин И.В.	24
Термодеструкция органического вещества чернозема	
Надпорожская М.А., Толстоусова С.А.	26
Пирогенный органоминеральный подгоризонт в почвах сосновых зеленомошных лесов – вклад в запасы органического вещества и влаги	
Нестерук Г.В.	27
Оценка содержания органического и неорганического углерода в почвах Ростовской области различными методами	
Паюсова И.В., Старцев В.В., Севергина Д.А., Горбач Н.М., Дымов А.А.	29
Сезонная динамика форм железа и алюминия в почвах вырубki (средняя тайга Республики Коми)	
Самохина Н.П., Филимоненко Е.А., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Зорина С.Ю., Соколова Л.Г., Дорофеев Н.В., Кузяков Я.В.	30
Влияние постагрогенного развития почв на содержание и изотопный состав углерода в денситометрических фракциях органического вещества	
Сапронов Д.В.	32
Поступление органического вещества на поверхность почвы с лесным опадом в условиях южного Подмосковья	
Семенов В.М.	34
Пуловая организация органического континуума почвы	
Снакин В.В., Присяжная А.А.	36
Динамика биопродуктивности ландшафтов и почвы в условиях современных изменений климата	
Степанов А.Л., Сошникова Е.А., Манучарова Н.А.	37
Новые процессы микробной трансформации азота в почвах как источника парниковых газов	
Тулина А.С.	38
Последствие температуры, влажности и растительных остатков разного качества на минерализуемый пул почвы	
Филимоненко Е.А., Сушко С.В., Соколов Д.А., Дворников Ю.А., Иващенко К.В.	40
Термостабильность почвенного органического вещества при традиционной и нулевой обработках агрочерноземов юга России	
Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Смирнов В.Э.	42
Запасы биофильных элементов в суглинистых почвах под и рядом с валежом дуба черешчатого	
Ходжаева А.К., Сапронов Д.В., Лопес де Гереню В.О., Зинякова Н.Б., Хорошаев Д.А., Курганова И.Н.	43
Характеристика атмосферных выпадений и почвенных вод в смешанном лесу Приокско-Террасного биосферного заповедника	
Хорошаев Д.А., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Сапронов Д.В., Кивалов С.Н.	45
Годовая динамика основных компонентов дыхания почвы в лесной и луговой экосистемах Приокско-Террасного заповедника	
Чаусова Е.Е., Упорова М.А., Самохина Н.П., Арбузова Е.А., Филимоненко Е.А.	47
Влияние пожара и постпирогенного развития на термические свойства органического вещества в почве лесотундры Западной Сибири	

Юртаев А.А., Шварцева О.С., Леонов Д.А., Первушина А.Н., Топорков И.Н. Пространственная вариабельность запасов углерода в почвенном покрове лесоболотных геосистем карбонового полигона «Кучак»	49
ПОЧВА КАК КОМПОНЕНТ БИОСФЕРЫ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ	
Алексеев А.О., Малышев В.В., Алексеева Т.В. Детализация геохимических и минералогических процессов степного почвообразования для развития подходов к палеопочвенным реконструкциям	51
Алексеева Т.В. Сульфатно-кислое почвообразование, его аналоги из геологического прошлого Земли и за ее пределами	52
Бахматова К.А., Шешукова А.А. Историко-географические особенности формирования почвенного покрова Павловского парка (Санкт-Петербург)	54
Бобровский М. В., Смирнов А.Л., Ханина Л.Г., Куприянов Д.А., Данилевская В.И., Добровольская М.В. Взаимодействие человека и природы в раннем железном веке: отражение в элементном составе городищ в истоках Волги	56
Борисов А.В. Антропогенное почвообразование при земледельческом освоении горной зоны	57
Вашукевич Н.В. Процессы педогенеза в плиоцене на территории Западного Забайкалья	59
Губин С.В. Тренды голоценового почвообразования в тундрах Северо-Востока России	61
Гунина А.А., Васенев В.И., Долгушина Е.А., Корытина М.А., Шик А.Ю. Зеленые крыши как компонент инфраструктуры городов для улучшения экологического состояния среды	61
Демидов В.Э., Шадриков И.Г. Почвы со вторым гумусовым горизонтом на территории Приокско-Террасного заповедника	63
Жарких И.А., Русаков А.В. Почвенно-археологическое изучение педохронорядов средневековых курганных могильников (Плюсский район Псковской области)	64
Зубкова Т.А., Суханова Н.И., Кирюшин А.В. Роль почвы в межгеосферных взаимодействиях в системе литосфера-биосфера	65
Инишева Л. И. Биосферная роль торфяных почв	67
Калинин П.И., Кудреватых И.Ю., Занина О.Г., Панин П.Г. Палеоклиматические характеристики почвообразования и лёссонакопления в Приазовье в среднем и позднем плейстоцене	69
Каширская Н.Н. Выделение новых штаммов спорообразующих бацилл из грунта средневековых погребальных сосудов аланской культуры	70
Каширская Н.Н., Давыдова А.А. Биологическая активность культурного слоя поселения Джарган Кая (XIV–X вв. до н.э.)	72
Ковда И.В., Рябуха А.Г., Поляков Д.Г. Слитогенез и криогенез: точки соприкосновения	73

Корж В.Д. О роли живого вещества в формировании элементного состава поверхности Земли	75
Лебедева М.П., Мусаэлян Р.Э., Чурилин Н.А., Макеев А.О. Особенности позднелепистоценового лессонакопления и почвообразования в Прикаспийской низменности	76
Макеев А.О., Русаков А. В., Мокиевский Н.В., Лебедева М.П. Финальный этап лёссонакопления и текстурно-дифференцированные почвы Русской равнины	78
Мальшев В.В., Алексеева Т.В., Алексеев А.О. Распределение железа по гранулометрическим фракциям степных почв Восточно-Европейской равнины	79
Овчинников А.Ю. Палеокриолитопедогенез и дифференциация почв центра Восточно-Европейской равнины по микрорельефу	81
Панин П.Г. Затухающая фаза межледникового почвообразования по данным лёссово-почвенных серий Восточно-Европейской равнины	83
Пинской В.Н., Кутузова Е.А., Шаев И.А. Биологическая активность и состояние органического вещества почв внутригорного Дагестана под влиянием различной интенсивности выпаса	84
Плеханова Л.Н. Проблема изучения почв с культурными слоями-зольниками	85
Потапова А.В. Почвенно-археологические исследования остатков постройки на городище «Михайловский кордон»	87
Седов С.Н., Шейнкман В.С., Андроханов В.А. Реликтовый криогенный горизонт в подзолах севера Западной Сибири, его палеоэкологическое значение и влияние на современное почвообразование	89
Семенов А.М. О патологии почвы и здоровье почвенной экосистемы	91
Семенов А.М., Семенова Е.Е. О содержании и свойствах многотоннажно производимых «почвообразных масс», предлагаемых для выращивания с/х продукции и для декоративных целей	92
Чевычелов А.П. Влияние пирогенеза на мерзлотные почвы как компонент биосферы	94
Чендев Ю.Г., Белеванцев В.Г., Салова Т.Л., Соляной А.В. Автоморфные нативные черноземы луговых степей на юге Среднерусской возвышенности	96
Чернышева Е.В. Особенности пула гидролитических ферментов в погребенных почвах и культурных слоях древних поселений	98
Шаев И.А., Пинской В.Н., Борисов А.В. Метагеномный анализ культурных слоёв почв поселений эпохи бронзы Крымского полуострова	99
ПРОБЛЕМЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ И ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ	
Асгерова Д.Б., Абдурашидова П.А., Желновакова В.А. Типы миграции и накопление солей в почвах Терско-Кумской низменности	101
Залибеков З.Г., Мусалаева П.Д., Залибекова М.З. О временно-функционирующих свойствах аридных почв в борьбе с опустыниванием земель	103

Кудреватых И.Ю., Калинин П.И., Митенко Г.В. Растительность степей как фактор изменения геохимических свойств почв при аридизации климата	104
Новицкий М.Л., Ергина Е.И. Влияние орошения на засоленность почв на севере Крыма	106
Решоткин О.В., Алябина И.О. Климат почв Прикаспия в условиях глобального потепления	107
Симонова Ю.В., Касаткина Г.А., Чарыкова М.В. Почвы Кучукско-Кулундинских приозерных ландшафтов (Алтайский край, Западная Сибирь): особенности морфологии, засоления, классификации	109
Собисевич А.В. Вклад В.А. Ковды в изучение причин вторичного засоления почв	111
Убугунов Л.Л. Почвы Центрально-Азиатского региона: результаты и перспективы эколого-географического и агрохимического исследования	112
Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Засоленные почвы прибрежных депрессий циклически пульсирующих высокоминерализованных озер в стадию регрессивной климатической фазы: эколого-геохимическая и агрохимическая оценка их состояния	114
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ И ЭКОСИСТЕМАХ	
Аскарова Д.А., Глебов В.В. Оценка аккумуляции тяжелых металлов в темно-каштановых почвах в Восточно-Казахстанской области	116
Башкин В.Н. Биогеохимические стандарты	117
Васильева Г.К. Ремедиация почв, загрязненных нефтяной промышленностью	119
Гаршин М.В. Оценка трансформации почвы после захоронения нефтезагрязненного слоя	121
Дударова Д.Г., Азнаева М.Р., Нагоева М.З., Таов Р.Х., Занилов А.Х. Сравнительная оценка влияния цитратных и сульфатных форм микроэлементов на биологическую активность почвы	123
Иовчева А.Д., Пинский Д.Л., Семенов И.Н. О механизмах сорбции Си почвами лесостепной зоны Барабинской равнины и их устойчивости к загрязнению	124
Калеро Эррера В.К., Березкин В.Ю. Влияние природных сорбентов на почвы, загрязненные различными дозами тяжёлых металлов	126
Колупаева В.Н. Источники неопределенности при описании поведения пестицидов в окружающей среде	127
Корчагина И.А., Шулико Н.Н. Количественный учет <i>Rhizoctonia solani</i> в ризосфере в условиях лесостепной и подтаежной зон Западной Сибири	129
Лапушкин М.Ю., Васильева Г.К., Стрижакова Е.Р. Применение риск-ориентированного подхода при ремедиации почв, загрязненных полихлорированными бифенилами	131

Лопатовская О.Г. Почвы около минеральных источников в Прибайкалье (Нукутское месторождение)	133
Людви́г У.И., Козлова А.А. Специфика свойств почв, развитых в самобытных условиях Южного Предбайкалья	134
Мартынова Н.А., Жученко Н.А., Мартынова Д.О. Орхокова Е.А., Ливанова А.Д. Влияние литогенной матрицы на геоэкологию почв горно-долинных ландшафтов юго-западной ветви Байкальской рифтовой зоны	136
Миндубаев А.З., Галимова А.Р., Гоголашвили Э.Л., Бабынин Э.В., Минзанова С.Т. Биотрансформация красного фосфора в фосфат	138
Минникова Т.В. Изменение активности ферментов цикла фосфора в почвах разного гранулометрического состава при загрязнении нефтью	139
Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А. Проблема эколого-геохимического состояния почв горнорудных территорий Забайкальского края	141
Орлова Н.Е., Орлова Е.Е., Смирнова К.А., Шахназарова В.Ю. Биохимические и микробиологические механизмы трансформации органического вещества дерново-подзолистых почв при внесении биоугля	142
Переломов Л.В., Герцен М.В., Козак С.О., Родин П.Р., Большеченко А.А., Козьменко С.В., Бурачевская М.В., Атрощенко Ю.М. Адсорбция свинца органо-минеральными комплексами на основе бентонита и ПАВ	144
Пинский Д.Л., Шарый П.А., Иовчева А. Д. Новый подход к нормированию тяжелых металлов в почвах	146
Приходько В.Е., Чевердин Ю.И., Чевердин А.Ю. Изучение почв Каменной степи в течение 130 лет	148
Самофалова И.А. Диагностика процессов физического и химического выветривания в почвах Среднего Урала (хребет Басеги)	150
Сохорова З.В., Манжикова А.В., Сангаджиева О.С., Сангаджиева Л.Х., Бембеев С.Б. Концентрирование тяжелых металлов водными растениями из оросительной системы	151
Санчай-оол Б.В. Максимова Е.Н., Лопатовская О.Г. Почвы около минеральных источников «Чойган» (Республика Тыва)	153
Сиголаева Т.Е., Иванищев В.В., Переломов Л.В., Большеченко А.А. Динамика формирования побегов гороха, выращенных на двух типах почв, искусственно загрязненных свинцом	155
Фомичева Н.В., Смирнова Ю.Д., Соловьев Д.А. К вопросу о биоремедиации нефтезагрязненной почвы	157
Шабаев В.П., Остроумов В.Е., Волокитин М.П. Применение стимулирующих рост растений ризосферных бактерий для уменьшения токсического действия загрязнения почвы медью	159
Швецов С.Г. Биогеохимические показатели распределения естественных радионуклидов в лесных экосистемах Прибайкалья	161
Ясенева Е.В., Евстафьева Е.В. Содержание тяжелых металлов в системе «почва–растение» на территории г. Севастополя	162

ЗНАЧЕНИЕ КРИОСФЕРЫ В ГЛОБАЛЬНОМ КРУГОВОРОТЕ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ, КОНСЕРВАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Гинзбург А.П., Лупачев А.В. Почвенно-геокриологические исследования на архипелаге Шпицберген: аналитический обзор, предварительные результаты и перспективы	164
Лупачев А.В., Тананаев Н.И., Мёртон Дж., Калинин П.И., Малышев В.В., Данилов П.П. Микростроение и геохимические свойства современных и палеопочв и многолетнемерзлых отложений Батагайской котловины	166
Шатилович А.В., Чесунов А.В., Губин С.В. Новый вид плейстоценовых нематод из вечной мерзлоты Якутии	167
Спирина Е.В., Мергелов Н.С., Шишков В.А., Долгих А.В., Зазовская Э.П. Сложные микробные экосистемы криоконитов на отступающих ледниках: возможный источник микроорганизмов для перигляциальных почв (на примере ледников о. Западный Шпицберген)	168
Занина О.Г., Лопатина Д.А., Ковалева Н.А. Диогенез микрофитофоссилий в почвах и отложениях криолитозоны по экспериментальным данным	169

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭКОСИСТЕМ

Александров Г.А. На чем тренировать «ИИ-специалиста» по поглощению углерода почвами?	172
Голубятников Л.Л., Завалишин Н.Н., Александров Г.Г. Модельные оценки эмиссии углерода из почв тундровых экосистем	173
Горбачева А.Ю., Мешалкина Ю.Л., Добровольская В.А., Романенков В.А. Использование региональных данных о поступлении органических остатков в почву для оценки потенциала секвестрации органического углерода в пахотных почвах Белгородской области	174
Захарова И.А., Юмашев Х.С., Лопухов П.М., Глаз Н.В., Шаталина Л.П. Солома как фактор сохранения почв	176
Зубкова Е.В., Никонов А.В., Припутина И.В. База данных «содержание азота в растительных образцах в регионе Южного Подмосковья» для параметризации моделей CAMPUS-S и EFIMOD3	178
Кивалов С.Н., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Сапронов Д.В., Хорошаев Д.А., Волкова Т.Ю., Касицкий В.А. Оценка экосистемных потоков углерода методом турбулентных пульсаций за летне-осенний период 2024 г. на эколого-климатической станции «Пушино»	180
Остроумов В.Е., Волокитин М.П., Шабаев В.П., Быховец С.С. Тенденции изменения влажности почвы по данным мониторинга потенциала почвенной влаги	182
Пивоварова Е.Г. Математические модели региональных эталонов почв – классификация, эволюция, управление	184
Припутина И.В., Шанин В.Н., Фролов П.В., Быховец С.С., Курганова И.Н., Фролова Г.Г., Портнов А.М. Моделирование почвенных запасов углерода при зарастании пашни лесов в Южном Подмосковье	186
Червань А.Н. Геоинформационное моделирование и анализ геосистем на основе структуры почвенного покрова	187
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	191
СОДЕРЖАНИЕ	194