ПОЧВА КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ

VI Международная научно-практическая конференция,
посвященная 95-летию направления подготовки «Почвоведение»
в Иркутском государственном университете

3–6 сентября 2026 года,
г. Иркутск



ISBN 978-5-9624-2512-2

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет»
ИНСТИТУТ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ПОЧВА КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Материалы
VI Международной научно-практической конференции,
посвященной 95-летию
направлению подготовки «Почвоведение» в ИГУ
Иркутск, 3–6 сентября 2026 г.

ИРКУТСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИГУ
2026

УДК 631.4
ББК 40.3
П65

Публикуется по решению ученого совета
Института Биологических наук ИГУ

Под редакцией *Н. Д. Киселевой*

П65 **Почва** как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем : материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию направлению подготовки «Почвоведение» в ИГУ. Иркутск, 3–6 сентября 2026 г. / [под ред. Н. Д. Киселевой]. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2026. – 1 электронный оптический диск (CD-ROM). – Заглавие с этикетки диска.

https://doi.org/10.26516/978-5-9624-2512-2.2026.1-375

ISBN 978-5-9624-2512-2

В материалах рассмотрены вопросы теоретического почвоведения, касающиеся генезиса, эволюции и проблем классификация почв Прибайкалья и других регионов Российской Федерации, методические подходы оценки почвенных и земельных ресурсов, современные концепции сохранения почвенного покрова. Обобщен опыт почвенно-геохимических исследований в зонах интенсивного природопользования, оценки свойств и экологического состояния природных и антропогенно-нарушенных почв, подходов исчисления размеров вреда, причиненного почвам. Рассмотрены объекты, подлежащие особой охране в связи с реально существующей угрозой их исчезновения или сильной деградации. Отдельные статьи посвящены междисциплинарным и мультидисциплинарным подходам в почвоведении, связи методов почвоведения с другими науками и научно-производственными направлениями.

Предназначено для специалистов в области почвоведения, биологии, экологии, географии, сельского хозяйства и охраны окружающей среды.

УДК 631.4
ББК 40.3

ISBN 978-5-9624-2512-2

© ФГБОУ ВО «ИГУ», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Воробьева Г. А., Убугунова В. И., Убугунов В. Л., Насатуева Ц. Н. Морфогенетический анализ ультракислых солончаков на грязевулканических отложениях (Бурятия, северо-запад Баргузинской котловины) 11

Лесовая С. Н., Горячкин С. В., Соколов А. А. Особенности почвообразования на карбонатных красноцветных отложениях Лено-Ангарского плато, сравнение с европейскими аналогами 16

Семенков И. Н., Бавшин И. М., Бондарь А. И., Гаврилюк Е. А., Гераськина А. П., Енчилик П. Р., Клинк Г. В., Титовец А. В., Тихонова Е. В., Шопина О. В. От покомпонентного изучения экосистем к интегральной характеристике постагрогенных технобиогеом Смоленского Поозерья 19

Смоленцев Б. А. Почвы Западной Сибири: география, генетические особенности, специфика почвообразования 24

Соколов Д. А. Эколого-биогеохимическая оценка состояния пойменных почв Норильского промышленного района 29

Шпедт А. А. Распространение и генезис черноземов Сибири 33

СЕКЦИЯ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ:
ГЕНЕЗИС, ЭВОЛЮЦИЯ, КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Будак А. А., Куклина С. Л. Распространение криогенных процессов в почвах южного Приангарья 38

Быковская С. С., Козлова А. А. Различные формы железа в почвах подтайги Иркутско-Черемховской равнины 43

Голдобина А. Г., Мальцева Е. И., Дурыманова В. В., Самофалова И. А. Биологическая активность почв хребта Басеги (Средний Урал) 48

Голубцов В. А., Опекунова М. Ю., Черкашина А. А., Рыбченко А. А. Хроноструктура педогенеза в долинах левобережных притоков р. Ангары в позднеледниковье и голоцене 54

Инишева Л. И., Порохина Е. В. Торфяные почвы, их генезис и подходы к их классификации 59

Козлов А. В., Брохова К. А., Дятлов И. С., Ефимова С. А., Каменных Н. Л. Вертикальная вариабельность численности физиологических групп микроорганизмов в профиле дерново-подзолистых почв ООПТ «Калужский бор» 64

Козлов А. В., Дятлов И. С., Канаева Е. А., Кустова В. М. Вариабельность количества олиготрофных и нитрифицирующих бактерий в карбонатных породах среднего карбона при их выветривании и в начале почвообразования 69

Кравченко Е. И., Голованов Д. Л., Аманжолов А. И., Кушербаев С. А. Отражение изменений генетических особенностей почв Центрального Казахстана спустя 80 лет антропогенного освоения в системах российских классификаций и WRB (на примере почв Джезказганского ботанического сада) 72

Легостаева Я. Б. Вертикальная миграция рудных элементов в почвенном профиле природных и техногенно-трансформированных ландшафтов Якутии 77

Меркулов Н. А., Пивоварова Е. Г. Решение классификационных проблем с помощью математических моделей региональных эталонов почв подзоны подгорных равнин Алтайского края 82

Рычкова И. В., Самофалова И. А. Элементный состав торфа горных болот хребта Басеги 87

Смирнов М. В., Рыжов Ю. В. Строение, возраст, условия формирования морфологических уровней первой надпойменной террасы бассейна р. Брянки (Селенгинское среднегорье) 92

Смоленцева Е. Н. Особенности почвенного покрова озёрных котловин в степном биоме Западной Сибири 97

Убугунов В. Л. Специфические морфологические образования в почвах Улюнханской впадины (Баргузинская котловина, Бурятия) 102

Холопов Ю. В., Вахрушев Л. А., Арзубов П. А., Кутявин И. Н., Дымов А. А Постагрогенные почвы средней тайги Республики Коми на месте подсечно-огневого земледелия: морфология, физико-химические свойства и запасы углерода 107

Шеин Е. В., Дембовецкий А. В., Тюгай З. Н., Лысаковский Ф. А. Седиментометрические методы определения гранулометрического состава почв 110

СЕКЦИЯ 2. МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПОДХОДЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В ДРУГИХ НАУКАХ И НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

Васильева Т. И, Шадринова О. В, Слепцов В. Г., Сизых Е. Г. Литогенный и геохимический факторы формирования камней билиарной системы жителей Якутии 115

Грицай М. А., Бауэр Т. В., Поляков В. А., Бутова В. В. Разработка и оптимизация гибридных наноплатформ на основе металл-органических каркасов и биочара для контролируемой доставки ауксинов растениям 120

Двуреченский В. Г. Глобальное изменение климата – универсальный индикатор концепции устойчивого развития 123

Клинк Г. В., Леднев С. А., Барбашев А. И., Немцева А. А. Семенков И. Н. Что друг о друге говорят растения-гипераккумуляторы? 129

Козлова А. А., Аюшинова Ю. А., Тюшкевич Е. О., Уткина А. Д. Применение кластерного анализа и метода главных компонент при изучении почв Южного Предбайкалья в условиях палеокриорельефа 134

Кузнецов П. В., Куклина С. Л., Чупарина Е. В. Геохимическая характеристика почв Рицинского реликтового национального парка (Абхазия) 139
Кузьминова О. В., Янчук Т. М. Элементы геостатистического анализа (кригинг) и ГИС-моделирование пространственного распределения тяжёлых металлов и мышьяка в городах Свирске и Черемхово (Иркутская область) 143
Кузьминова О. В., Янчук Т. М., Чупарина Е. В, Кутенкова А. Д. Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвенных и растительных компонентах экосистем г. Свирска 148
Лазарева М. Н., Дуданова В. И., Сычев Н. В. От морфологии палеопочв к палеоландшафтам: комплексный анализ отложений МИС 7 – МИС 1 разреза новозаведенное (Восточное Предкавказье) 153
Лисецкая Л. Г., Ефимова Н. В., Шаяхметов С. Ф. Загрязнение почвы фторидами в зонах влияния производства алюминия 155
Лиштва А. В., Тресков Н. В. Кальцефильные лишайники карбонатного массива Кадаликанские столбы (Патомское нагорье, Восточная Сибирь) 159
Лящевская М. С., Базарова В. Б., Анзулис Я. Е., Шаповалов Е. Ю., Сухин Д. В., Пшеничникова Н. Ф., Киселева А. Г. Междисциплинарное изучение археологических геоархивов раннесредневекового городища криничное (Приморский край) 160
Маркова Ю. А., Кривенко Д. А., Хадеева Е. Р., Галивонджян А. Х., Демкина А. О., Гилеп К. А., Сутормин Д. А. Модуляция почвенного микробиома редкими растениями семейства Fabaceae 165
Мартынова Н. А., Мартынов Я. И. Региональные геологические аспекты формирования древнего стока реки Пра-Манзурки из оз. Байкал и свойств почв горного Прибайкалья 169
Мишкина Д. С. Применение видов судебных почвоведческих экспертиз в правоприменительной практике Иркутской области 176
Нурминская Ю. В., Петрушин И. С., Романова И. М., Третьякова М. С., Маркова Ю. А. Фенотипические и геномные особенности штамма *Lysobacter* antibioticus HZ25 из ризосферы *Hedysarum zundukii* (мыс Зундук, Прибайкалье) в контексте адаптации к условиям карболитозема 181
Палкина А. А., Мерзляков Н. С., Самофалова И. А. Дифференцированный кислотный след почвообразования почв различного генезиса 185
Подурец О. И. Особенности структурообразования в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса 190
Семенов Ю. М. Почвенный блок в системе ландшафтного планирования 195
Семенов Ю. М., Семенов М. Ю., Силаев А. В. Почвы гидрологически чувствительных ландшафтов как депоненты загрязнителей и потенциальные источники загрязнения вод 200
Шеин Е. В., Микаил Р. Ф., Микаилсой Ф. Д. Математическое моделирование теплопереноса в двухслойной почвенной системе 205

СЕКЦИЯ 3. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ
(ПЛОДОРОДИЕ, ДЕГРАДАЦИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ, КАЧЕСТВЕННАЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ)

Akbarova U. Z. Causes of Soil Erosion and Measures To Combat It in the Southeastern Part of the Lankaran Region 211

Антонов Г. И., Гродницкая И. Д., Полякова Г. Г., Сенашова В. А. Оптимизация почвенной лесорастительной способности в ходе применения инновационного биоудобрения после рубок и пожара в Погорельском бору 214

Бауэр Т. В., Барахов А. В., Бурачевская М. В., Минкина Т. М. Ремедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами, с использованием материалов на основе биочара и металлорганических каркасов: влияние на фракционный состав и экологические риски 218

Белозерцева И. А., Воробьева И. Б., Власова Н. В., Костюкова М. С. Загрязнение почв, поверхностных и прибрежных вод побережья Байкала 222

Волкова Т. Ю., Митрохина Е. С., Журавлева А. И., Хорошаев Д. А., Телеснина В. М., Курганова И. Н., Ананьева Н. Д. Микробная и ферментативная активность постагрогенного дерново-подзола как показатель естественного самовосстановления 227

Гаевая Э. А. Особенности формирования эрозионных процессов северного Приазовья в условиях меняющегося климата 231

Гетман М. Г., Кравченко Е. А., Минкина Т. М. Композитные материалы для улучшения влагоёмкости почв 236

Горяев Р. А. Влияние микробиологических препаратов на деструкцию растительных остатков в условиях юга Западной Сибири 238

Гродницкая И. Д., Порфирьева Е. В. Оценка микробиологической активности почв севера Красноярского края до и после воздействия на них нефтепродуктов 242

Жердева В. Н., Родикова А. В., Кулижский С. П., Кабеева А. Д. Некоторые параметры физического состояния почв Ярегского нефтяного месторождения 247

Захарова О. Г., Чевычелов А. П. Свойства и фосфатное состояние мерзлотного солончака солонцеватого Центральной Якутии 252

Зубкова Т. А. Почвенно-растительные пространства России в формировании патриотического и экологического сознания 256

Киселева Н. Д., Николаева В. Д., Прокопенко А. Л. Морфоаналтическая характеристика почв, сформированных в условиях техногенного воздействия гипсового рудника, Южное Приангарье 260

Козлов А. В., Бодякшина М. А., Никитенко А. М. Вертикальная и пространственная вариабельность численности микроорганизмов-олиготрофов, базального и субстрат-индуцированного дыхания в почвогрунтах на объектах захоронения отходов и при их восстановлении 266

Козлов А. В., Коржов И. В., Никитенко А. М. Особенности вариации количества микроорганизмов-олиготрофов, субстрат-

индуцированного и базального дыхания дерново-подзолистой почвы при сверхдлительной химизации агроэкосистемы 272
Корольков А. Т., Маркин Н. С. Геохимическая характеристика загрязненных почв и экология (г. Балей Забайкальского края) 276
Лапердин Е. П., Козлова А. А. Динамика средних показателей кадастровой стоимости земельных участков в Иркутской области 281
Макаров И. Н., Данилов П. П. Трансформация почвенного покрова долины р. Яны в зоне влияния заброшенного хвостохранилища Батагайской ОФ № 418 286
Миронов М. С., Мартынова Н. А. Применение методов почвенной микробиологии и биотестирования для оценки состояния почв под воздействием полигона ТБО 290
Митракова Н. В., Сайранова П. Ш., Хайрулина Е. А., Порошина Н. В. Эффективность предложенной мелиорации на почвах рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна 295
Некрасова О. А., Валдайских В. В., Радченко Т. А. Запасы углерода в почвах карбонового полигона Свердловской области «Урал-Карбон» 299
Никитина В. В., Локалина Т. В. Эффективность использования полимерно-минерального композита аларфест в полевом опыте на примере сои (Glycine max (L.) Merr.) 303
Петухова П. Ю. Эколого-мелиоративная характеристика почв Кудинской депрессии и методы их мелиорации 307
Романова А. А., Алябина И. О. Продукционные параметры растительных ассоциаций и их взаимосвязь с почвенным покровом широколиственных лесов нечерноземной зоны 312
Ручкина К. В., Мерзляков О. Э. Источники загрязнения почв микропластиком 317
Сайранова П. Ш., Митракова Н. В., Кобелев Н. А. Оценка деградации подзолов по данным полевых и дистанционных исследований 322
Семенков И. Н., Леднев С. А., Карпачевский А. М., Клинк Г. В., Делеган Я. А., Болотник Т. А., Трифонова В. А., Богун А. Г., Миронова О. А., Смоленков А. Д., Королева Т. В. Технобиогеомы мест падения первой ступени ракет-носителей «Протон» в Центральном Казахстане 327
Синько Н. А., Козлова А. А. Понятие об устойчивости почв при антропогенной нагрузке 332
Соколова Н. А. Агрогенная трансформация свойств автоморфных почв Новосибирского Приобья 336
Трубников Ю. Н. Агроэкологическая характеристика и производительная способность нечерноземных почв Приенисейской Сибири 340
Учаев А. П., Некрасова О. А., Радченко Т. А. Особенности гумуса почв луговых сообществ золоотвалов Среднего Урала 345
Хасанова А. Х., Яковлева Л. В. Сравнительная характеристика гранулометрического состава и гумусного состояния аллювиальных почв агроландшафтов 350

Хирк А. В., Жидкин А. П., Комиссаров М. А. Оценка степени деградации почвенного покрова и возможностей моделирования эрозии почв в восточной части Бугульминско-Белебеевской возвышенности 354
Чаплыгин В. А., Минкина Т. М., Манджиева С. С., Черникова Н. П., Смехунов А. Е. Оценка суммарного показателя загрязнения лекарственных растений зоны техногенного воздействия Новочеркасской ГРЭС 357
Черноусенко Г. И. Засоленные почвы Усть-Ордынского Бурятского округа Иркутской области 362
Шешукова А. А., Бахматова К. А., Русаков А. В., Лагуткина Д. О., Леонтьева М. Р. Количественный и качественный учет артефактов в городских почвах как элемент их экологической оценки 367
Enkhtuya B, Enkhbat J, Saikhanchimeg M., Amarjargal D, Ganbaatar Sh. Assessment of Agrochemical Properties of Cultivated Chestnut Soils in Northen Mongolia 372

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник издан по итогам работы VI Международной научно-практической конференции «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем», посвященной 95-летию направлению подготовки «Почвоведение» в ИГУ. В ее организации приняли участие сотрудники кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Института биологических наук ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет».

Конференция имеет двадцатипятилетнюю историю (2001, 2006, 2011, 2016, 2021 гг.). Как и в предыдущие годы необходимо отметить широкий состав и большое количество участников. Конференция вызвала несомненный интерес как российских, так и зарубежных специалистов в области почвоведении, сельского хозяйства и управления земельными ресурсами из Иркутска, Улан-Удэ, Москвы, Санкт-Петербурга, Перми, Красноярска, Новокузнецка, Новосибирска, Якутска, Владивостока, Томска, Екатеринбурга, Барнаула, Астрахани, Ростова-на-Дону, Турции, Монголии, Азербайджана. Общее количество участников – 85, на очное участие в работе конференции подано 60 заявок.

Проводимая конференция стала традиционной в рамках следующих актуальных направлений исследования: теоретическое почвоведение: генезис, эволюция, классификационные проблемы; мультидисциплинарные подходы почвоведения, связанные с использованием методов почвоведения в других науках и научно-производственных направлениях; почвенные ресурсы и оценка земель (плодородие, деградация, мелиорация, качественная и экономическая оценка, охрана земель). Сотрудниками кафедры разработана научно-полевая экскурсия на оз. Байкал. Заложены почвенные разрезы, проведена аналитическая обработка почвенных образцов, опубликован Путеводитель экскурсии.

В период работы конференции, проведения экскурсий участники конференции имели возможность свободного научного общения, обмена мнениями, знаниями и опытом практической деятельности в области почвоведения, что, несомненно, станет стимулом для дальнейшего профессионального роста, интеграции совместной научной и инновационной деятельности. На протяжении 95 лет, благодаря эффективной, слаженной работе коллектива кафедры успешно решается научно-исследовательская и педагогическая деятельность, проводится активная работа с общественными организациями, волонтерской деятельностью.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 631.4

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УЛЬТРАКИСЛЫХ СОЛОНЧАКОВ НА ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ (БУРЯТИЯ, СЕВЕРО-ЗАПАД БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ)

Г. А. Воробьева[1], В. И. Убугунова[2], В. Л. Убугунов[2], Ц. Н. Насатуева[2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск, galvorob@yandex.ru
[2]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ
ubugunova57@mail.ru

В тектонически активной Байкальской рифтовой зоне на озерно-аллювиальной равнине в северо-западной части Баргузинской котловины встречается многообразие положительных форм рельефа (бугры, валы) со специфическими свойствами слагающего их материала, резко отличного от пойменного аллювия горных рек. Формирование их связано с разгрузкой восходящих газо-грязе-гидротермальных флюидов. Результатом эндогенного привноса веществ являются нетипичные для гумидной зоны сильнощелочные почвы разной степени засоления, а также ультракислые сульфатные солончаки.

Бугры грязевулканического происхождения названы нами «наземными грязевулканическими объектами» (НГВО). Примитивные почвы на них можно отнести к «полупочвам» [4] или к почвоподобным образованиям [2]. Принципиальная специфика НГВО от прочих рыхлых пород заключается в поступлении минерального субстрата снизу при периодическом излиянии глубинной вулканической грязи на поверхность. Объект исследования – ультракислые солончаки ((ВЛК-15, N54,86929, E110,98677). Близкое соседство ультракислых и щелочных грязевулканических отложений вызывает много вопросов и требует научных объяснений. В дополнение к сказанному: исследуемый объект имеет ещё и региональную специфику, которая заключается в том, что на небольшой глубине от поверхности (120 см) располагается кровля ледяной линзы, вследствие чего образование бугра, на котором заложен разрез, можно связать с образованием гидролакколита.

Результаты морфогенетического анализа и их обсуждение. В процессе многолетнего изучения ультракислых почв на грязевулканических отложениях выявлены их специфические свойства: 1) сильнокислая реакция среды (pH_{H2O} – 3,1–3,7; pH_{KCl} – 2,7–3,4), сульфатное засоление (1,0–1,16 %); 2) присутствие гипса; 3) очень низкая плотность грунта (0,27–0,45 г/см^3); 4) аномально высокое содержание серы [1; 5]. Формирование почв этого типа прежде всего связано с геохимическим циклом серы, ключевую роль в котором имеют хемолитоавтотрофные бактерии с доминированием родов Thiobacilus (41 %) и Thermodesulfovibrio (9 %) [3]. В результате их жизнедеятельности в НГВО отмечается окисление сульфидов до сульфатов, появление элементарной серы и серной кислоты.

Разрез ВЛК-15 в привершинной части бугра вскрыл 1,2-метровую толщу отложений, подстилаемых ледяной линзой гидролакколита. Выделено четыре слоя, различающихся как по характеру излияний, так и по вещественному со-

ставу грязи. Три значительных излияния привели к формированию относительно гомогенных слоев 1, 2 и 4. Слабые излияния вулканической грязи образовали в слое 3 прослойки, различающихся по составу и окраске (от почти чёрной до буроватой и белой).

Недавний этап активизации грязевого вулканизма (после образования слоя 4) отличался от предыдущих, поскольку на данном участке сопровождался не формированием нового наноса, а разгрузкой флюидов. При этом под давлением газов произошла следующая деформация слоёв (рис.):

1. Куполовидное (слева) и соседнее (справа) внедрения слоя 1 в вышележащий слой 2 (рис., А) может свидетельствовать о значительном идущим снизу напряжении, вызвавшим выдавливание слоя 1 вверх.
2. Резкое прекращение дальнейшего выдавливания указывает на быструю разгрузку давления за счёт стремительного прорыва газово-жидкой фазы к дневной поверхности.
3. Слои 3 и 4 разорваны трещинами, идущими от кровли слоя 2.
4. Под воздействием давления верхняя часть слоя 3 на фронтальной стенке разреза (рис., А) была слегка растянута (слой 3а), что привело к образованию столбчатых отдельностей, а на боковых (рис., Б) – разорвана.
5. Слой 4 (рис., А, Б) разорван трещинами и разрыхлён.
6. Состав веществ, проходящих по соседним трещинам А и Б, дифференцирован (рис., А): по трещине А выходила преимущественно газовая фракция, по трещине Б – газово-жидкая фракция. Жидкость несла органику, которая пропитала отложения, придав им более тёмную окраску.
7. Концентрация трещин свидетельствует о том, что центр канала разгрузки газов и газово-жидкой смеси располагался в 0,5 м перед фронтальной стенкой разреза. Примерный диаметр разрыхлённой зоны выброса газа составлял 1,2–1,4 м.

Выдавливание слоя 1 указывает на скопление газов на какой-то относительно небольшой глубине за счёт образования «пробки» в выводных каналах флюидов. Вероятно, ею являлась ледяная линза гидролакколита, усиленная за счёт обломков пород, застрявших в выводном канале грязевого вулкана. При достижении критического давления газов обломки этого материала были выброшены на поверхность образовавшегося бугра, о чем косвенно свидетельствует наличие на периферийных участках бугра песчаных отложений и нескольких крупных обломков породы. Остатки газов, вероятнее всего, вышли по появившимся в слоях 3 и 4 субвертикальным трещинам. Давление флюидов и их выброс привели к ликвидации ранее существовавшей западины (о чём свидетельствует обилие диатомовых в слое 4) и образованию грязевого бугра. Вслед за этим последовало подсыхание бугра и ухудшение условий существования некоторых влаголюбивых диатомовых водорослей.

Вероятно, именно гидролакколит, предшествующий новообразованному, мог являться той ледяной «пробкой», которая препятствовала спокойной разгрузке газов и газово-жидкой фракции. Суровые климатические условия региона благоприятствуют глубокому сезонному промерзанию почв и появлению

гидролакколитов (за исключением тех участков, которые расположены вблизи тёплых грязевых источников, подпитывающихся потоком тепла, идущим снизу). Новообразованный гидролакколит продолжает формироваться. Не исключено, что в дальнейшем он сможет выполнить функцию «пробки» и спровоцировать взрывной характер выброса вулканических газов, скопившихся под его подошвой.

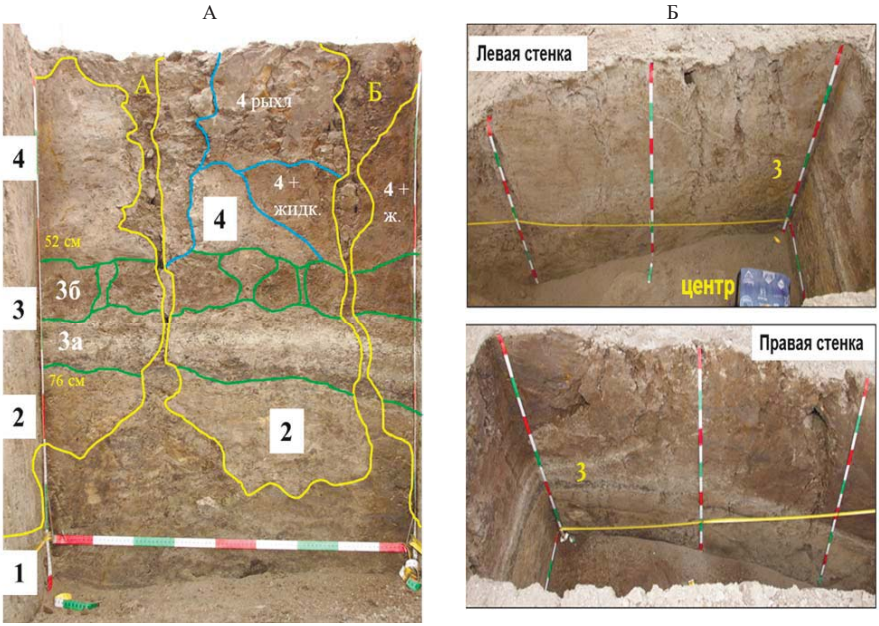


Рис. Особенности строения отложений разреза ВЛК-15. А – элементы строения фронтальной стенки разреза: 1–4 – номера слоев; фрагменты слоя 4 (4рыхл. рыхлые, 4+жидк., 4+ж. пропитанные темной жидкостью). Особенности слоя 3 (3а – полосчатый; 3б – темный с блоками растяжения). Б – элементы строения боковых стенок разреза: разрывы слоя 3 и трещины выхода газов через слой 4

На неоднократную активизацию грязевулканических процессов, сопровождавшихся выбросом на поверхность и растеканием по ней грязевых потоков, указывает слоистое строение. Каждый выброс сопочной брекчии имел свои особенности по вещественному составу (в том числе химическому), по интенсивности и мощности, по периодичности выбросов (часто-редко) и соотношению газовой и грязевой составляющих. Мощность слоёв сопочной грязи и неоднократное формирование гидролакколитов, а также колебания обводнённости территории приводили к изменению микрорельефа, а вместе с тем – условий для развития растений и диатомовых, для засоления и почвообразования. Наличие большого количества фитолитов в слое 3 указывает на временное осушение слоя, заселение его растительностью и начало образования полупочв

типа солончаков в верхней (3 б) части слоя. О подсыхании и повышенной концентрации солей также свидетельствуют галофильные виды диатомовых водорослей в слое 3 и белые прослойки в нижней его части (3а).

Причиной выхода слоя 3 из затопленного состояние может быть его поднятие при разрастании гидролакколита (гидролакколит-1). В дальнейшем довольно мощное излияние грязевой массы привело к погребению полупочвы слоя 3 слоем 4. Гидролакколит-1 при этом распался, а его деградация вызвала оседание поверхности отложений и их затопление, что обеспечило условия для развития диатомовых на дне западины в новообразованном и затопленном слое 4. После появления слоя 4 началось формирование гидролакколита-2, его разрастание способствовало постепенному поднятию отложений и выходу слоёв 1–4 из затопленного состояния. Этот процесс усиливался за счёт нарастания давления газов под дном гидролакколита-2. При достижении критического давления гидролакколит-2 раскололся, произошёл выброс газов в атмосферу и деформация слоёв: слой 1 внедрился в слой 2, слои 3 и 4 были разорваны субвертикальными трещинами, по которым вулканический газ устремился в атмосферу. Вероятно, высота бугра уменьшилась, но он остался в наземном состоянии. Его нынешняя высота 2,5–3,0 м, диаметр основания 10–15 м, склоны бугра крутые.

Выход грязевулканических отложений слоя 4 из затопленного состояния благоприятствует подсыханию минерального субстрата и способствует запуску на нём новой фазы почвообразования. Существование и дальнейшее разрастание бугра поддерживается появлением под ним современного гидролакколита-3, кровля которого в настоящее время на глубине 120 см.

Таким образом, общая ритмика и тенденция развития НГВО, подобных ВЛК-15 представляется следующим образом:

– в суровых условиях Баргузинской долины паузы между очередными грязевулканическими излияниями благоприятствуют появлению и разрастанию гидролакколитов, что ведёт к поднятию слоёв грязевулканических отложений на кровле очередного гидролакколита;

– нарастание давления газово-жидкой и грязевой массы в подошве гидролакколита до критического состояния приводит к разрушению гидролакколита и выбросу грязевулканического материала на поверхность;

– деградация гидролакколита сопровождается оседанием поверхности, что может привести или к уменьшению высоты бугра или к образованию западины;

– периодическая аккумуляция грязевулканического материала на поверхности сопровождается общей тенденцией нарастания высоты бугра за счёт накопления мощности грязевулканических отложений над каналом разгрузки сопочной брекчии, вследствие чего фазы деградации гидролакколитов приводят лишь к временному уменьшению высоты бугра, не превращая бугор в западину.

Грязевулканические слои разреза ВЛК-15 имеют молодой возраст (SA, <2,5 тыс. лет) Аргументом служат: чёткие границы всех слоёв, а также отсутствие следов морозобойного криогенеза, проявление которого в региональном масштабе приурочено к рубежу SB/SA (2,5 тыс. л. н.). Последний выброс газов,

прорвавших слои 3 и 4, был буквально накануне (в том же сезоне), когда закладывался разрез ВЛК-15 (июль 2020 г.). На это указывает раскрытость трещин и рыхлость вдоль них отложений слоя 4.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № № 126021217181-4.

Литература

1. Минералогический и химический состав криогенных бугров пучения на севере Баргузинской котловины / Т. А. Аюшина, В. Л. Убугунов, В. И. Убугунова [и др.] // Почвы – опора России: тез. докл. IX съезда о-ва почвоведов им. В. В. Докучаева. М. ; Казань : МАКС-Пресс, 2024. С. 798–800.

2. Горячкин С. В. География экстремальных почв и почвоподобных систем // Вестник РАН. 2022. Т. 92, № 6. С. 564–571.

3. Таксономическое разнообразие микробного сообщества в термальном источнике Кучигер (Байкальская рифтовая зона) / Е. В. Лаврентьева, А. А. Раднагуруева, О. А. Батурина, В. В. Хахинов // Сибирский экологический журнал. 2024. № 1. С. 30–40.

4. Соколов И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск : Гуманитар. технологии, 2004. 288 с.

5. Сульфатно-кислые солончаки бугров пучения: макро-, микроморфологические и минералогические особенности (центральная часть Байкальской рифтовой зоны) / В. Л. Убугунов, М. П. Лебедева, Н. И. Дорофеюк, Г. А. Воробьева, В. И. Убугунова, Д. А. Чудаев // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Чита : Изд-во ЗабГУ, 2025. С. 116–121.

MORPHOGENETIC ANALYSIS OF ULTRAACID SOLONCHAKS ON MUD VOLCANIC DEPOSITS (BURYATIA, NORTH-WEST OF THE BARGUZIN BASIN)

G. A. Vorobyova[1], V. I. Ubugunova[2], V. L. Ubugunov[2], Ts. N. Nasatueva[2]
[1]Irkutsk State University, Irkutsk, galvorob@yandex.ru
[2]Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, ubugunova57@mail.ru

The ultraacid reaction of solonchaks is the result of the activity of thion bacteria. Morphogenetic analysis of the soil profile structure revealed the phases of periodic releases of mud volcanic masses, periods of rest (formation of hydrolaccoliths), and modern gas release (crack opening and loosening of the surface 0–50 cm layer). The clear boundaries of all layers, as well as the absence of traces of frost-breaking cryogenesis, make it possible to diagnose the age of the 1.2-meter thick sediment less than 2.5 thousand years.

УДК 631.48

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА КАРБОНАТНЫХ КРАСНОЦВЕТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛЕНО-АНГАРСКОГО ПЛАТО, СРАВНЕНИЕ С ЕВРОПЕЙСКИМИ АНАЛОГАМИ

С. Н. Лесова[1], С. В. Горячкин[2], А. А. Соколов[3]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, s.lesovaya@spbu.ru
[2]Институт географии РАН, Москва, sergey.gory@gmail.com
[3]МАОУ «Гимназия "Гармония"», Великий Новгород, ant0nsokolov@mail.ru

К актуальным проблемам географии почв относится выявление соотношения биоклиматогенных и литогенных закономерностей почвообразования, что требует глубоких знаний о вещественном составе почв и пород и, как правило, использования методов и подходов минералогии почв. Почвы на карбонатных и/или красноцветных почвообразующих породах характеризуются выраженными и устойчивыми при почвообразовании признаками, унаследованными от почвообразующих пород. Карбонатные породы выступают локальным геохимическим барьером и влияют на значения pH – Eh в профиле почв, определяя направленность и интенсивность реализации процессов почвообразования. Более сложным вариантом для понимания глобальных закономерностей формирования почвенного покрова являются почвы на красноцветных отложениях, которые в лесных ландшафтах России встречаются и на Европейской территории (ЕТР), и в Сибири. В пределах ЕТР почвы на красноцветных отложениях распространены в виде небольших разобщенных ареалов. Они характеризуются менее дифференцированным профилем по сравнению с почвами на некрасноцветных отложениях и реализацией метаморфического направления почвообразования [1].

Примером почвообразования на карбонатных красноцветных отложениях Сибири являются почвы Лено-Ангарского плато. Первоначально [2] к ним был применен тот же классификационный подход, что и для почв ЕТР: *дерново-карбонатные типичные*, по мере выщелачивания карбонатов, – *дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные* почвы – *подзолистые остаточно-карбонатные* почвы. Далее этот ряд почв был рассмотрен с точки зрения эволюционного подхода в классификации почв. Тогда же впервые обосновывалось предложение о том, что дерново-карбонатные почвы на красноцветных отложениях плато могут быть отнесены к типу бурых лесных почв [3]. И если слабая дифференциация профиля на карбонатных красноцветных отложениях логична и объяснима, то значительно сложнее обосновать выраженную текстурную дифференциацию профиля на этих же породах, формирующихся в условиях резко континентального климата умеренного пояса.

Целью исследования является обоснование реализации структурно-метаморфического и текстурно-дифференцированного направлений почвообразования на кембрийских красноцветных карбонатных породах Лено-Ангарского плато, занимающих высоты от 600 до > 1000 м.

Исследованные почвы характеризуются суглинистым гранулометрическим составом, высоким содержанием валового и дитионитрастворимого железа. В выщелоченной от карбонатов части профиля кислотность почв возрастает. Все почвы формируются в минералогически однородном субстрате, и характеризуются слюда-хлоритовой ассоциацией глинистых минералов с преобладанием диоктаэдрических минералов. Интересной особенностью минералогического состава почв на красноцветных карбонатных кембрийских отложениях Лено-Ангарского плато является отсутствие практически во всех изученных разрезах каолинита, что является значимым их отличием от аналогов ЕТР – почв на красноцветных отложениях. Увеличение доли смешанослойных образований – продуктов трансформаций слюд и хлорита в верхних почвенных горизонтах отражает усиление профильной дифференциации минеральных фаз при переходе от структурно-метаморфических к текстурно-дифференцированным почвам.

На основании анализа данных метеостанций, расположенных на различных высотах Лено-Ангарского плато, было выявлено, что на высотах более 1000 происходит резкое увеличение количества осадков с максимальным гравитационным переносом почвенных растворов вниз по профилю в летний период, что сопровождается выщелачиванием карбонатов [4]. В данном случае абсолютные высоты определяют: а) степень гумидности климата в связи с увеличением количества осадков (> 600 мм); б) более низкие летние температуры, чем в долинах ~ на 3–3,5 ºС [7]. Именно в этих условиях формируются текстурно-дифференцированные почвы.

Ниже, на высотах 800–950 м, элювиально-иллювиальное перераспределение тонкодисперсного материала проявляется на уровне признаков в структурно-метаморфических почвах – буроземах. Названия даны в соответствии с профильно-генетической классификацией почв России [5]. На высотах 600–700 м выщелачивание карбонатов сопровождается вторичным окарбоначиванием профиля практически с поверхности, что обусловлено капиллярным подъемом растворов, содержащих растворенные карбонаты. Представляется, что почвы именно этого высотного диапазона отражают специфику почвообразования на красноцветных карбонатных отложениях в условиях континентального климата Восточной Сибири [6].

Еще одним примером влияния одного из факторов почвообразования на проявление, в данном случае ослабление, текстурной дифференциации профиля являются почвы на красно-бурых глинах широколиственных лесов ЕТР (дубрава участка «Лес на Ворскле» заповедника «Белогорье») [8]. Структурно-метаморфические почвы (серые метаморфические), в которых «зональная» элювиально-иллювиальная дифференциация профиля выражена только на уровне признака, четко приурочены к выходу на дневную поверхность бескарбонатных красно-бурых глин. Глины характеризуются: а) более тяжелым гранулометрическим составом; б) более высокими содержаниями смектитового компонента среди глинистых минералов и (гидро)оксидов железа по сравнению с таковыми в окружающих лёссовидных суглинках, на которых формируются текстурно-дифференцированные серые почвы.

Таким образом, красноцветность почвообразующих пород, а особенно в сочетании с их карбонатностью, в целом ослабляют текстурную дифференциацию почв и обусловливают сдвиг педогенеза в сторону структурно-метаморфического как в Восточной Сибири, так и в лесной зоне ЕТР. Особенность почвообразования на этих породах на юге Сибири в условиях континентального климата заключается в появлении текстурно-дифференцированных почв в верхнем высотном ярусе, а также вторичного окарбоначивания в буроземах нижнего яруса лесного пояса. Такая контрастность почвенного покрова сильно отличается от ситуации в лесной зоне ЕТР.

Благодарности. XRD данные получены в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования», результаты оптической микроскопии – «Микроскопии и микроанализа» Санкт-Петербургского государственного университета.

Литература

1. Лесовая С. Н. Генезис и география почв на красноцветных породах европейской территории России : дис. … д-ра геогр. наук. СПб., 2005. 315 с.

2. Макеев О. В. Дерновые таежные почвы Средней Сибири. Улан-Удэ, 1959. 350 с.

3. Воробьева Г. А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2010. 205 с.

4. Высотно-климатическая обусловленность реализации различных направлений почвообразования на карбонатных красноцветных отложениях Лено-Ангарского плато, Восточная Сибирь / А. А. Соколов, С. Н. Лесовая, Ю. Н. Курочкин, В. М. Разумовский // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2025. Т. 70, № 2. С. 254–271.

5. Полевой определитель почв. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

6. Почвы на красноцветных карбонатных отложениях Лено-Ангарского плато: факторные границы текстурной дифференциации / С. Н. Лесовая, С. В. Горячкин, А. А. Соколов, Т. В. Романис, Д. Е. Конюшков, О. Г. Лопатовская // Почвоведение. 2024. № 12. С. 1690–1704.

7. Коновалова Т. И., Ноговицын В. Н. Геосистемы Лено-Ангарского плато // Известия Иркутского государственного университета, серия «Науки о Земле» 2015. Т. 14. С. 46–54.

8. Генезис почв на красно-бурых глинах и лессовидных суглинках юго-запада Среднерусской возвышенности (на примере заповедника «Белогорье») / С. Н. Лесовая, М. П. Лебедева-Верба, Н. П. Чижикова, О. В. Романов // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1285–1296.

FEATURES OF PEDOGENESIS ON CALCAREOUS RED-COLORED SUBSTRATES FROM THE LENA-ANGARA PLATEAU, COMPARISON WITH EUROPEAN ANALOGUES

S. N. Lessovaia[1], S. V. Goryachkin[2], A. A. Sokolov [3]
[1]St. Petersburg State University, St. Petersburg, s.lesovaya@spbu.ru
[2]Institute of Geography RAS, Moscow, sergey.gory@gmail.com
[3]High School "The Harmony", Veliky Novgorod, ant0nsokolov@mail.ru

Soils on red-colored calcareous substrate on the Lena-Angara plateau are characterized by both common and specific features of morphology as well as chemical and mineralogical ones in comparison with the soils on red-colored substrates in the forest landscapes from European Russia. The factor limits of clay differentiation were shown based on two variants of pedogenesis: (i) its occurrence due to changes in the climatic humidity related to the absolute altitude of the area in the Lena-Angara plateau and (ii) its weak development affected by parent material (red-colored clay) in the hardwood forests of the Russian Plain.

УДК 574.42

ОТ ПОКОМПОНЕНТНОГО ИЗУЧЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ К ИНТЕГРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ ТЕХНОБИОГЕОМ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ

И. Н. Семенков[1,2], И. М. Бавшин[3], А. И. Бондарь[2], Е. А. Гаврилюк[1], А. П. Гераськина[1], П. Р. Енчилик[1,2], Г. В. Клинк[4], А. В. Титовец[1,5], Е. В. Тихонова[1], О. В. Шопина [1,2]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева РАН, Москва, semenkov@seogr.msu.ru
[2]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
[3]Национальный парк «Смоленское Поозерье», Пржевальское
[4]Высшая школа экономики, Москва
[5]Институт лесоведения РАН, Успенское

Введение. После широкомасштабного сокращения распашки в Восточной Европе активно протекает естественное лесовосстановление. Наблюдаемые изменения могут быть охарактеризованы с использованием понятия технобиогеомы – термина, предложенного М. А. Глазовской [1], под которым понимают ландшафтно-геохимические системы (группы ландшафтов) со сходным уровнем устойчивости и характером ответных реакций на определённые техногенные воздействия (бездействие в случае прекращения распашки и естественного лесовосстановления на заброшенных землях).

Расположенный в экотоне таежных и широколиственных лесов нацпарк «Смоленское Поозерье» с большим ландшафтным и ценотическим разнообразием (много вариантов сельхозиспользования, большое разнообразие разновозрастных постагрогенных экосистем и малонарушенных лесов) –уникальная модельная территория для анализа постагрогенной динамики экосистем, так как, начиная как минимум с конца XVIII в., здесь можно отследить несколько этапов забрасывания распахиваемых земель.

Объекты и методы. В Смоленском Поозерье для характеристики 7 стадий трех хроносерий (сосновой, еловой и хвойно-широколиственной [3]: С, Е и Д соответственно; рис. 1) выполнено 173 геоботанических описания растительности, заложено 80 почвенных разрезов, в >2500 пробах почв и подстилок изучены агрохимические свойства (величина pH, гранулометрический состав, общее содержание C и N, подвижные K и P, состав водной вытяжки) и фракционно-групповой состав 27 химических элементов, в 447 образцах изучен состав и биомасса почвенной макрофауны, в 165 образцах проанализирован состав почвенного микробиома по вариабельным регионам V3V4 и V4V5 16S рРНК.

В соответствии с существующими подходами М. А. Глазовской [1] и Н. П. Солнцевой [2] ландшафты изученных хроносерий объединены в технобиогеомы, схожие по отклику на прекращение распашки и отражающие стадиальность и скорость естественного восстановления обследованных компонентов постагрогенной экосистемы. Карта технобиогеом выровненных поверхностей междуречья нацпарка «Смоленское Поозерье» масштаба 1:150 000 состав-

лена в несколько этапов: 1) создание карты сочетаний природных факторов, определяющих условия миграции и потенциал самовосстановления ландшафтов, нарушенных агромелиоративными мероприятиями; 2) создание концептуальной модели естественной реградации ландшафтов с выделением индикаторных характеристик каждого обследованного компонента; 3) разработка контурной части карты постагрогенных технобиогеом и легенды к ней.

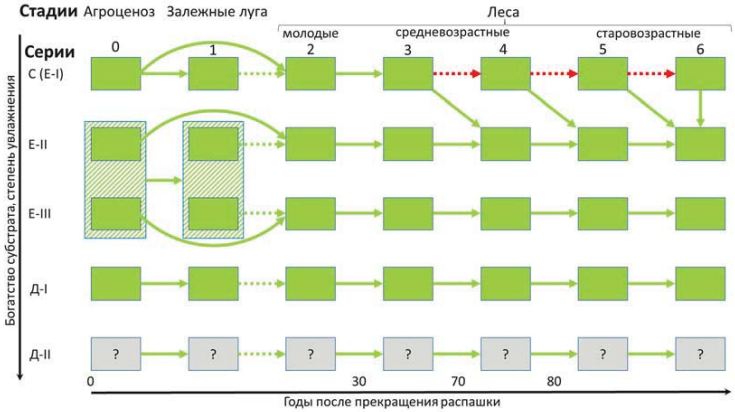


Рис. 1. Принципиальная схема с характерными временами существования постагрогенных серий и стадий восстановления растительности на выровненных междуречных пространствах в Смоленском Поозерье: С – сосновая, Е – еловая, Д – хвойно-широколиственная. Римские цифры I – III – варианты серий, отличающиеся по трофности субстрата. С(Е-I) – еловая серия на самых бедных песчаных отложениях (сосновая серия), терминальной стадией которой является ельник бореальный, а основной раннесукцессионый древесный вид – сосна. Е-II – еловая серия на субстратах средней трофности, терминальной стадией которой также является ельник бореальный, а основной раннесукцессионый древесный вид – береза. Е-III – еловая серия на высокотрофных субстратах, конечной стадией которой является ельник неморальный, а основной раннесукцессионый древесный вид – береза. Д-I – хвойно-широколиственная серия на хорошо дренированных богатых субстратах, основным раннесукцессионым древесным видом которой является береза. Д-II – хвойно-широколиственная серия на слабо дренированных богатых субстратах, основным раннесукцессионым древесным видом которой является ольха серая. Зеленые сплошные стрелки – естественный переход одной стадии в другую. В зависимости от условий заброшенные пашни могут зарасти березой и сосной, минуя стадию залежного луга. Прерывистые зеленые стрелки отражают восстановление леса по старым залежным лугам, которое в Смоленском Поозерье редко наблюдается. Прерывистые красные стрелки отражают переход на следующую стадию в условиях контролируемого выжигания подроста ели для поддержания существования сосняка. Участки стадий Е2 – Е6 могут быть разделены по трофности субстрата за счет разного соотношения бореальных и неморальных видов травянистых растений. На более ранних стадиях Е0 и Е1 это затруднительно за счет небольшого участия бореальных и неморальных видов травянистых растений, поэтому такие участки на схеме объединены в одну группу заштрихованным прямоугольником. Вопросом на сером фоне обозначены хронотопы, которые не были предметом настоящего исследования, но могут существовать в Смоленском Поозерье. Зеленым отмечены изученные хронотопы

Результаты и их обсуждение. В Смоленском Поозерье выделено 11 основных постагрогенных технобиогеом. Из них обследованные нами хроносерии характеризуют две постагрогенные технобиогеомы: ландшафты междуречий 1) с хвойными лесами и их производными на легких бескарбонатных породах, 2) хвойно-широколиственными лесами и их производными на бескарбонатных и остаточно-карбонатных суглинках. Такая особенность вызвана выявлением однотипного отклика и тем, что мы работали в пределах одной ландшафтной зоны, с одним типом антропогенного воздействия, в одних условиях рельефа и увлажнения, со схожим хозяйствованием. Ландшафты сосновой и еловой серий объединены в одну технобиогеому в связи с близостью ответных реакций на прекращение осуществления агромелиоративных мероприятий и времени исчезновения агрогенных меток несмотря на то, что на средних стадиях лесовосстановление идет через сосну и березу и имеются отличия в количественных характеристиках растительности, почв, почвенной макрофауны и почвенного микробоценоза, а также искусственным поддержанием существования поздних стадий сосновой серии.

В основу созданной карты постагрогенных технобиогеом Смоленского Поозерья положена информация (рис. 2), обобщающая и характеризующая, на какой стадии восстанавливаются свойства изученных компонентов экосистемы (относительно состояния в агроценозе), имеющие наибольшую индикационную роль:

– стадия 1: появился сплошной горизонт OL, альфа-разнообразие макрофауны низкое, «пашенная» макрофауна, микробиом Д-серии стал агро-лесным;

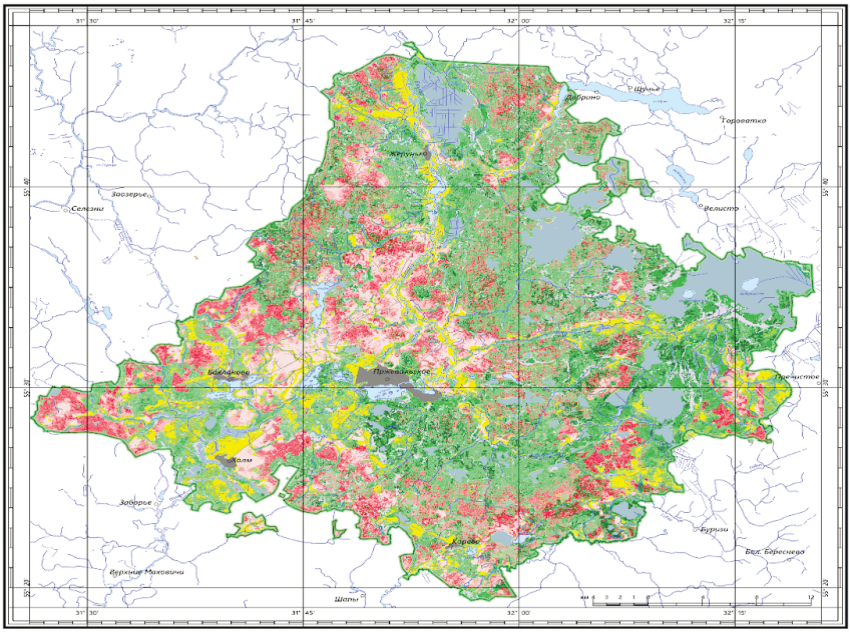
– стадия 2 (до 30 лет произрастания леса): появился горизонт OF, восстановились величина pH в С- и Е-серии и содержание Собщ и Nобщ в горизонтах OL С- и Е-серии, альфа-разнообразие макрофауны; «луговая» макрофауна;

– стадия 3 (60–70 лет): появился горизонт OH, восстановились содержание Собщ и Nобщ в горизонте OL Д-серии, микробиом (в середине стадии); лесные травянистые виды начинают вытеснять луговые, восстанавливается разнообразие подстилочной макрофауны; «лесная» макрофауна;

–стадия 4 (до 70–80 лет): восстановился по массе горизонт OH, горизонт P сильно деградировал (но еще не AYpa), восстанавливается разнообразие подстилочной макрофауны;

– стадия 5 (до 110 лет): горизонт P превратился в AYpa, восстановление комплекса макросапрофагов, восстановилось соотношение ранне- и позднесукцессионных древесных видов, исчезают виды сорной ценотической группы;

– стадия 6 (>110 лет): восстановление спектра жизненных форм растений травяно-кустарничкового яруса, полное восстановление микробиома Д-серии; появляются почвенные ветровальные комплексы и крупноразмерный валеж разных стадий разложения в т. ч. позднесукцессионных видов деревьев; сохраняется ровная нижняя граница и четкий переход между старопахотным горизонтом и подпахатной толщей в С- и Е-серии (в Д-серии >350 лет).



Условные обозначения

Серия	Стадии					
	Агроценозы и луга	Леса				
		молодые	средневозрастные		старовозрастные	
	1	2	3	4	5	6
Е	Е1	Е2	Е3	Е4	Е5	Е6
Д	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6

30 70 80 110

Годы после прекращения распашки

Рис. 2. Карта постагрогенных технобиогеом национального парка “Смоленское Поозерье”. Интегральная характеристика стадии 2 еловой и хвойно-широколиственной постагрогенной технобиогеомы Смоленского Поозерья (объединенная характеристика двух катографируемых единиц – стадий Е2 и Д2; как пример): одноярусные молодые (одновозрастный древостой 20 – 30 лет) леса из раннесукцессионных древесных видов (берез или сосны) с формирующимся древесным и кустарниковым ярусами и меняющимся травяно-кустарничковым с доминированием корневищных (25–40 %), стержнекорневых (20 %) и рыхлодерновинных (10 %) видов-многолетников (>95 %) с разнообразным спектром ценотических (по 20–40 % лесных и лесо-луговых, 10–25 % луговых) эколого-ценотических групп, отличающимся в зависимости от субстрата, и общим проективным покрытием 45–75 % и фрагментарным моховым ярусом с небольшим количеством валежа начальных стадий разложения на реградированных агропочвах H^{+}–Fe^{3+} класса с деструктивной подстилкой, восстанавливающей свое качество по содержанию общих C и N, с «лесной» макрофауной, восстанавливающей α-разнообразие подстилочной макрофауны, и агропреобразованным микробоценозом

Заключение. Ландшафты трех изученных хроносерий выровненных поверхностей междуречья Смоленского Поозерья объединены в две постагрогенные технобиогеомы, схожие по отклику на прекращение распашки и отражающие стадиальность и скорость естественного восстановления основных компонентов данной системы – почв, растительности, почвенной макрофауны и микробиоты: 1. ландшафты с хвойными лесами и их производные на бескарбонатных породах легкого гранулометрического состава, 2. ландшафты с хвойно-широколиственными лесами и их производные на бескарбонатных и остаточно-карбонатных породах тяжелого гранулометрического состава. Создана карта постагрогенных технобиогеом и легенда к ней – первая в своем роде среднемасштабная карта технобиогеом.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 21-74-20171-П. Секвенирование выполнено в ЦКП в области геномики Сколтеха.

Литература

1. Глазовская М. А. Технобиогеомы – исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогнозирования // Вестник МГУ. Сер. География. 1972. № 6. С. 23–35.

2. Солнцева Н. П. Эколого-геохимический подход к оценке ландшафтов для оптимизации природопользования // Природные ресурсы: рациональное использование и охрана. М. : Изд. -во МГУ, 1996. С. 24–43.

3. Шопина О. В., Гераськина А. П., Кузнецова А. И., Тихонова Е. В., Титовец А. В., Бавшин И. М., Хохряков В. Р., Семенков И. Н. Стадии постагрогенного восстановления компонентов экосистем сосновых лесов национального парка «Смоленское Поозерье» // Почвоведение. 2023. № 1. С. 20–34.

FROM COMPONENT-BASED ECOSYSTEM STUDIES TO AN INTEGRATED CHARACTERIZATION OF POST-AGROGENIC TECHNOBIOGEOMES IN SMOLENSK LAKELAND

I. N. Semenkov[1,2], I. M. Bavshin[3], A. I. Bondar[2], E. A. Gavrilyuk[1], A. P. Geraskina[1], P. R. Enchilik[1,2], G. V. Klink[4], A. V. Titivets[1,5], E. V. Tikhonova[1], O. V. Shopina[1,2]

[1]Isaev Centre for Problems of Forest Ecology and Productivity RAS, Moscow
semenkov@seogr.msu.ru
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow
[3]Smolenskoye Poozerye National Park, Przhevalskoe
[4]Higher School of Education University, Moscow
[5]Institute of Forest Science RAS, Uspenskoe

In the Smolensk Lakeland, a comprehensive study was conducted to characterize seven stages of pine, spruce, and mixed (coniferous–broadleaf) forest chronosequences. The initial data set included 173 geobotanical vegetation descriptions, 80 soil cross-sections, analysis of agrochemical properties (pH, particle size distribution, total C and N, available K and P, and water extract composition) and determination of fractional–group composition of 27 chemical elements in >2,500 soil and litter samples; assessment of soil macrofauna composition and biomass in 447 samples; and analysis of soil microbiome composition via 16S rRNA amplicon sequencing in 165 samples. Following the conceptual framework by M. A. Glazovskaya and N. P. Solntseva, the landscapes of the studied chronosequences were integrated into technobiogeomes – units that share similar responses to the cessation of cultivation and reflect the staged patterns and rates of natural recovery in the studied components of post-agrogenic ecosystems. A map of technobiogeomes for the level interfluve surfaces of Smolensk Lakeland National Park was made at a scale of 1:150,000.

УДК 645.1

ПОЧВЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ГЕОГРАФИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, СПЕЦИФИКА ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Б. А. Смоленцев

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,
smolentsev.b@yandex.ru

В связи с обширностью территории и разнообразием природно-климатических условий состав почвенного покрова Западной Сибири характеризуется большим разнообразием. Здесь встречаются почти все почвы, представленные в Классификации и диагностики почв России [4; 6].

Согласно современной схеме почвенно-географического районирования [1] территория Сибири находится в трех географических поясах: полярном, бореальном и суббореальном.

Область арктических и тундровых почв

Структура почвенного покрова (ПП) арктической зоны характеризуется комплексностью, связанной с мерзлотными процессами, снежной и ветровой коррозией, нивальными воздействиями. Распространены трещиновато-полигональные комплексы из криоземов, пелоземов и мерзлотных трещин. В депрессиях встречаются глееземы криотурбированные.

Арктические почвы (в основном криоземы) сочетаются с почвами-пленками (петроземами и пелоземами) и непочвенными образованиями. Поступление в почву органических остатков зависит от таких факторов, как ветровой режим, микро и нанорельеф. В почвах отчетливо выражены динамические и структурные криогенные признаки. Наряду с криоземами, в составе ПП участвуют торфяно-криоземы. Южнее формируются криоземы грубогумусовые глееватые.

В подзоне типичных тундр и в лесотундре в условиях расчлененного рельефа почвенный покров представлен криоземами с грубогумусовыми или торфяными поверхностными горизонтами, а также глееземами, глееземами криометаморфическими, криотурбированными и торфяно-глееземами. Криоземы и глееземы образуют пучинно-медальонные комплексы с почвами пятен выпучивания – абраземами криометаморфическими.

Общие особенности почвообразования Арктической и Тундровой зон:

− цикличность развития почв, их постоянное омолаживание из-за мерзлотного перемешивания;

− слабая дифференциация профиля;

− незначительный педоморфизм минеральной массы;

− медленное преобразование органического вещества и формирование слаборазвитого гумусово-аккумулятивного, грубогумусового горизонта в автономных почвах и торфяного – при дополнительном увлажнении.

Бореальные таежные области занимают самую большую площадь на территории Сибири – около 65 %.

В условиях гумидного таежного климата дифференцированность ПП зависит от литологических особенностей почвообразующих и подстилающих пород, в частности от их гранулометрического состава. К легким породам приурочены альфегумусовые почвы. На суглинках преобладают текстурно-дифференцированные почвы.

Альфегумусовые почвы распространены в северной части бореальной таежной области. Они разделяются на подбуры и подзолы по проявлению элювиально-иллювиальной дифференциации. Западно-Сибирские подбуры формируются на полиминеральных песках. Подзолы развиваются на кварцевых песках. Географически ареалы подбуров располагаются всегда севернее подзолов и в менее влажных условиях. Региональные особенности подзолов: языковатость, карманистость; растянутость элювиального горизонта; наличие мощных многослойных ортзандов.

На границе с лесотундрой, в связи с частыми процессами промерзания-оттаивания, профили подзолов в значительной степени криотурбированы.

Кроме альфегумусовых почв на севере бореальной области встречаются разные типы криометаморфических почв – органо-криометаморфические, грубогумусовые и светлоземы. Они формируются в автоморфных условиях на легко- и среднесуглинистых породах. Криометаморфический горизонт этих почв имеет специфическую рассыпчатую ооидную криогенную структуру. На слабо дренированных участках, формируются железисто-метаморфические почвы и глееземы недифференцированные.

Текстурно-дифференцированные почвы бореальной области представлены подзолистыми, подзолисто-глеевыми и дерново-подзолистыми типами почв. Основной ареал распространения подзолисто-глеевых почв лесотундра и северная тайга. Подзолистые и дерново-подзолистые почвы распространены в средней и южной тайге Западной Сибири. Все текстурно-дифференцированные почвы формируются на хорошо дренированных территориях.

Подзолисто-глеевые почвы характеризуются как холодные длительно промерзающие, кровля вечной мерзлоты в области их распространения проявляется на глубине 1–1,5 м. В СПП подзолисто-глеевые почвы образуют комбинации с торфяно-подзолисто-глеевыми почвами и торфяными почвами.

Подзолистые почвы относятся к умеренно холодным длительно промерзающим. Для них характерно наличие глубинной глееватости, обусловленной медленным оттаиванием.

Основной ареал дерново-подзолистых умеренно холодных длительно промерзающих почв – южная тайга. Почвы формируются на рыхлых отложениях, имеют развитый элювиальный горизонт. В профиле часто присутствует второй (реликтовый) гумусовый горизонт, залегающий в нижней части элювиального горизонта или под ним.

Бурые лесные (Буроземы) и серые метаморфические почвы отдела структурно-метаморфических почв формируются на слабощебнистом элюводелювии осадочных и магматических пород. Основные ареалы распространения – горные гумидные территории в южной части бореальной области. На

элювии углеродосодержащих глинистых сланцев встречаются бурозёмы тёмно-профильные.

Западно-Сибирская равнина является уникальнейшим в мире регионом по масштабам проявления процессов заболачивания и торфонакопления. Постепенно развиваясь в течение голоцена, эти процессы в настоящее время вышли на уровень мощных ландшафтообразующих факторов. Главная причина переувлажнения и болотообразования бореальной области – плоский рельеф и слабый эрозионный врез крупных и малых рек. Площадь болотных торфяных почв в бореальной области ЗС по разным данным составляет 29–38 %, а общая заболоченность более 50 %. Мощность торфяников на севере области – 1–3 м, на юг мощность увеличивается до 4–6 м. Максимальная мощность торфа была обнаружена на юге Васюганского болота – 11 м.

Специфика почвообразования в бореальной области Западной Сибири:

– Зональные почвы занимают меньшую территорию, чем интразональные – 3 % в северной тайге и 18 % – в средней и южной;

– преобладание автономно-гидроморфного почвообразования над подчиненно-гидроморфным: гидроморфные почвы, в т. ч. болотные торфяные приурочены к плоским водоразделам, а автоморфные почвы развиваются в подчиненных элементах рельефа – выпуклые склоны к долинам рек;

– широкое распространение в ПП южной тайги подзолистых и дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом. Это связано со смещением биоклиматических зон на север в оптимум голоцена;

– всплеск болотообразования в оптимум голоцена в связи с таянием вечной мерзлоты на севере области привел к погребению подзолов под торфяной толщей болотных почв, а последовавшее похолодание привело к консервации погребенных профилей без их деформации.

Суббореальная область. Маленькая по площади, но с самым неоднородным, сложным, пестрым и контрастным почвенным покровом. Характерными её чертами в почвенно-геохимическом отношении являются широкий спектр автономных и подчиненных почв, заболоченность здесь сочетается с засолением. Она отличается высокой долей пашни в составе сельхозугодий, поэтому большинство почв – агрогенно-преобразованы.

На севере области в естественных условиях под хвойно-мелколиственными лесами формируются серые и тёмно-серые почвы. Географически серые почвы относятся к трем фациальным подтипам. В Западной Сибири – это умеренные длительно промерзающие почвы.

Черноземы распространены в лесостепной и степной зонах. В географическом распределении типов и подтипов сибирских черноземов не наблюдается такой чёткой закономерности, как в европейской части России, где зона черноземных почв с севера на юг подразделяется на подзоны оподзоленных, выщелоченных, типичных, обыкновенных и южных [по 5]. Это связано с наличием в Сибири своеобразных геоморфологических районов, характеризующихся общими чертами климатических режимов, но формирующихся в различных литолого-геохимических условиях и имеющих разную эволюционную историю. Это

Ишимская и Барабинская равнины, на которых ареалы черноземов обыкновенных (солонцеватых и осолоделых) проникают на север, замещая черноземы оподзоленные и частично выщелоченные.

Наиболее выраженным черноземообразовательным процессом обладают черноземы типичные. Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта в этих почвах может достигать 1 м, а запасы гумуса – более 400 т/га. Основной ареал распространения – предгорные районы Алтайского края.

Ареал черноземов выщелоченных и оподзоленных приурочен в лесостепной зоне, он сплошной полосой тянется от Урала до гор Кузнецкого Алатау.

Черноземы южные и большая часть обыкновенных формируются в степной зоне, которая в ЗС узкой полосой простирается от Урала до гор Алтая.

Почвы сухих степей представлены двумя типами аккумулятивно-карбонатных малогумусовых почв – каштановыми и бурыми аридными. Основной ареал распространения каштановых почв в Западной Сибири – Кулундинская степь. Бурые аридные почвы были диагностированы в Чуйской степи Республики Алтай.

Криоаридные почвы палево-метаморфического отдела приурочены к высокогорным континентальным районам Алтая – Чуйская степь.

Интразональные почвы суббореальной зоны представлены солонцами, солончаками и солодями.

Специфика почвообразования и почвенного покрова Западной Сибири. По набору типов почв Западно-Сибирская равнина не отличается от Восточно-Европейской, т. е. не является специфичной. Основные отличия связаны с особенностями формирования ПП и почвенного типа, т. е. определяются генезисом и эволюцией почв, трансформацией ПП.

Одним из физико-географических эффектов, подчеркивающих специфику почвообразования в Западной Сибири, считается смещение южной границы биоклиматических зон и подзон на север, на 400–600 км [2], по сравнению с таковыми в Восточно-Европейской равнине (ВЕР). Для равнинных территорий такая ширина смещения соизмерима с широтной протяженностью зон. Можно сказать, что биоклиматические зоны Западной Сибири расположены не на своем месте.

Проявляются особенности физико-географических условий почвообразования и в географии почв. Так, ареал черноземов охватывает не только зону типичной степи, но и всю лесостепь. Такая аномалия в географии черноземов сопровождается аномалией в географии серых почв. На территории ВЕР в лесостепной зоне преобладают серые почвы, в Западной Сибири массивы серых почв встречаются лишь по окраинным, наиболее дренированным участкам равнины. В конечном итоге северная граница западно-сибирских черноземов оказывается на 200–300 км севернее восточно-европейских. Параллельно черноземам на север смещен и ареал засоленных и солонцеватых почв.

Многолетняя или вековая цикличность климата оказывает влияние на фациальную специфику почв – их полигенетичность, проявляющуюся в почвен-

ном покрове аккумулятивных и трансаккумулятивных ландшафтов лесостепной и степной зон и таежной зоны.

Полугидроморфные и гидроморфные почвы лесостепной и степной зон Западно-Сибирской равнины занимают столь обширные площади, что корректность отнесения этих территорий к так называемой черноземной зоне в почвенно-географическом плане весьма условна. Данная территория по составу почвенного покрова ассиметрична. В пределах Предалтайской почвенной провинции ПП на 80–90 % представлен автоморфными почвами, а в Западно-Сибирской почвенной провинции на 80 % – полугидроморфными и гидроморфными почвами, в разной степени засоленными. Таким образом, сибирскими почвоведами было показано, что непрерывной евроазиатской черноземной полосы не существует, так как восточнее Урала эта полоса приобретает островной характер [3].

Не менее важной особенностью географии засоленных почв и солонцов выступает своеобразный «сдвиг» их ареала на север. Если на Восточно-Европейской равнине такие почвы формируются в степной зоне, и это принято считать нормой, то на юге Западной Сибири основные их массивы сосредоточены в лесостепной зоне.

Литература

1. Добровольский Г. В., Урусевская И. С., Алябина И. О. Почвенно-географическое районирование. Масштаб 1:15 000 000 // Национальный атлас России. Т. 2. «Природа. Экология». М. : Роскартография, 2007. С. 304–307.

2. Гаджиев И. М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1988. 278 с.

3. Генезис, эволюция и география почв Западной Сибири / И. М. Гаджиев [и др.]. Новосибирск : Наука, 1988. 224 с.

4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 343 с.

5. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 224 с.

6. Полевой определитель почв России. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

SOILS OF WESTERN SIBERIA: GEOGRAPHY, GENETIC FEATURES, SPECIFICS OF SOIL FORMATION

B. A. Smolentsev
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk
smolentsev.b@yandex.ru

The work provides a brief overview of current knowledge about the specifics of soil formation in Western Siberia. It describes the soils and characteristics of the soil cover (SC) in this region, from the polar region to the steppe zone. The main components of the SC, their regional features, and the main factors influencing the formation of soil types are identified. The work highlights the specific features of soil formation in each bioclimatic zone. It is noted that Western Siberia is a unique region in terms of the extent of waterlogging and peat accumulation processes. Currently, these processes have reached the level of powerful landscape-forming factors. It is shown that the West Siberian Plain does not differ from the East European Plain in terms of the set of soil types. The main differences in the formation of soil types and soil cover as a whole are determined by the genesis and evolution of soils, as well as the transformation of the SC. The geographic features of certain soils in the Western Siberian region are also highlighted: Chernozems and Luvisols, Solonchaks and Solonetz.

УДК 631.41:504.5

ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ПОЧВ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Д. А. Соколов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, Норильск, sokolovdenis@mail.ru

Норильский промышленный район (НПР) является одним из крупнейших мировых горно-металлургических центров, оказывающим масштабное и многофакторное воздействие на хрупкие экосистемы Крайнего Севера. При этом химическое воздействие формируется под влиянием как антропогенных источников (аэротехногенное воздействие, использование металлургических шлаков в строительстве, аварийные ситуации на трубопроводах и дамбах), так и природных факторов (аномально высокий геохимический фон ряда химических элементов) [8–11].

Пойменные ландшафты представляют собой ключевое звено между сушей и гидросферой. Выполняя транзитную функцию, они обеспечивают миграцию химических элементов и органических соединений в водные объекты, а также участвуют в перераспределении веществ, поступающих из дренируемых автоморфных ландшафтов [1]. Анализ химического состава почв в зонах аккумуляции и переотложения речных взвесей служит надёжным индикатором экологического состояния водосборных бассейнов.

В связи с этим цель работы – посредством определения содержания и выявления закономерностей распределения тяжёлых металлов и мышьяка в пойменных почвах НПР оценить их эколого-биогеохимическое состояние.

В качестве объектов исследований выбраны аллювиальные почвы водотоков, истоки которых находятся в пределах НПР. Были исследованы пойменные почвы Надеждинского ручья, рек Далдыкан, Амбарная, Щучья, а также реки Пясина. Отбор и лабораторные исследования проб выполнялись в соответствии с общепринятыми в почвоведении методами, включенными в «Федеральный перечень методик…» [2]. Содержание Zn, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb определяли методом оптической атомно-эмиссионной спектрометрии, As – гидридным методом на атомно-абсорбционном спектрометре в испытательной лаборатории Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

Для оценки степени антропогенной преобразованности почв рассчитывались однофакторные (K_c и I_{geo}) и многофакторные (Zc, NPI, PLI, PERI) индексы загрязнения. Статистический анализ проводился с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена, кластерного анализа (метод Варда) и метода главных компонент.

Результаты исследований показали, что аллювиальные почвы НПР характеризуются значительной неоднородностью морфологического облика и хими-

ческого состава. В поймах Надеждинского ручья и Далдыкана в профилях почв фиксируются техногенные включения красной окраски. В пойме Щучьей техногенный материал локализован преимущественно на поверхности из-за низкой скорости течения, а почвы Амбарной (выше впадения Далдыкана) и Пясины отличаются минимальным антропогенным воздействием. Почвы варьируют по содержанию физической глины от 1,3 до 39,6 %, органического углерода от 0,2 до 16,1 % и значениям pH от 2,0 до 7,2.

Общее содержание химических элементов в исследуемых почвах от нескольких до сотен раз превышают кларковые [5] и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) [3]. В меньшей степени эта особенность проявляется в дифференциации элементов 1-го класса опасности, где средние концентрации Pb и Zn превышают кларковые в 2,2 и 1,8 раза соответственно. Превышение содержания Cd в среднем составляет 4,3 раза. Содержание элементов 2-го класса опасности в среднем выше кларка для Cu в 77,6 раз, Ni – в 50,7, Co – в 15,8, Cr – в 11,9. Минимальное превышение отмечается в аллювиальных почвах Пясины: для Cu в 4,3 раза, Ni – в 4,7, Co – в 4,0, Cr – в 2,2. В почвах пойм НПР минимальные концентрации определяемых элементов характерны для берегов Амбарной выше места впадения Далдыкана.

Полученные данные по содержанию исследуемых химических элементов в почвах соответствуют установленным ранее диапазонам значений [8–11]. Однако они демонстрируют противоположную тенденцию, не уменьшаясь, а, напротив, в большинстве случаев увеличиваясь в пределах каждого водотока по мере удаления от промышленных объектов. При этом фиксируемое увеличение характерно не только для валовых концентраций, но и для рассчитанных индексов загрязнения.

Кластеризация методом Варда сгруппировала участки по степени загрязненности и позволила выделить те из них, где преобладает геогенное накопление химических элементов. Особенности распределения концентраций химических элементов в пространстве главных компонент, а также по отношению к исследуемым участкам, также детерминированы степенью загрязненности почв. Так, по отношению к первой главной компоненте наиболее загрязненные почвы оказались в области положительных значений, наименее – отрицательных. Вторая главная компонента, определила расположение участков поймы реки Щучьей и Надеждинского ручья, где фиксируются техногенные наносы. В области наибольших отрицательных значений как первой, так и второй компонент локализовались участки Пясины и один Амбарной с минимальными значениями коэффициентов концентрации и индексов геоаккумуляции. Близкое расположение последних в пространстве главных компонент свидетельствует о минимальном антропогенном воздействии на эти территории, что позволяет рассматривать почвы пойм Амбарной (выше впадения Далдыкана) в качестве фоновых участков для аллювиальных почв НПР. По результатам проведенных исследований установлены региональные фоновые значения (мг/кг) для валового содержания: As – 2, Cd – 0,4, Zn – 135, Pb – 43, Cu – 285, Ni – 280, Cr – 185, Co – 50, с возможностью снижения нормативов по Cu и Ni в 2 раза для кислых и в 4 раза для песчаных почв.

Расчет однофакторных индексов загрязнения выявил расхождения в оценке ее степени. Коэффициент концентрации (K_c) чаще указывает на сильное и очень сильное загрязнение, тогда как индекс геоаккумуляции (I_{geo}), учитывающий вариации фона, часто снижает оценку до среднего уровня. Многофакторные показатели (Zc, NPI, PLI, PERI), рассчитанные на основе установленных фоновых концентраций показали, что степень загрязнения пойменных почв уменьшается в ряду р. Далдыкан > руч. Надеждинский = р. Щучья > р. Амбарная > р. Пясина. При этом часто значения индексов увеличиваются вниз по течению водотоков (табл.).

Таблица

Многофакторные индексы загрязнения, рассчитанные на основе фоновых концентраций, установленных для пойменных почв НПР

Название водотока	Номер участка	Индекс загрязнения			
		Zc	NPI	PLI	PERI
руч. Надеждинский	1	19,3	5,0	2,2	205,4
	2	18,9	3,9	1,4	110,2
	3	81,0	20,1	5,1	666,4
р. Далдыкан	1	75,5	24,1	3,1	507,4
	2	36,6	9,6	2,5	264,8
	3	107,9	24,5	4,8	692,9
	4	91,9	21,1	4,4	640,8
р. Щучья	1	32,0	7,1	2,2	149,0
	2	57,8	13,7	3,2	280,7
	3	124,4	31,4	5,2	621,6
р. Амбарная	1	1,0	0,3	1,0	59,1
	2	37,0	8,5	2,6	290,9
	3	21,0	4,8	2,4	296,8
	4	60,9	16,2	3,3	500,6
	5	55,8	14,5	3,2	456,9
	6	18,5	3,9	2,2	267,9
р. Пясина	1	1,7	0,6	0,7	33,8
	2	1,4	0,5	0,7	39,3
Уровень загрязнения	<16 [3] допустимый		<0,7 [7] отсутствие	<1,0 [4] отсутствие	<90 [6] низкий
			0,7–1,0 пограничный	1,0–2,0 низкий	
	16–32 умеренный		1,0–2,0 низкий	2,0–3,0 умеренный	90–180 средний
			2,0–3,0 средний		180–360 высокий
	32–128 опасный		>3 высокий	>3 высокий	360–720 очень высокий
	>128 чрезвычайный		–	–	>720 чрезвычайный

Таким образом, проведенное исследование подтвердило значительную антропогенную нагрузку на пойменные почвы НПР и необходимость применения для них корректных региональных нормативов, что может стать основой для

повышения точности оценки экологического состояния почв и эффективности природоохранных мер.

Литература

1. Крицков И. В. Влияние почвенно-ландшафтных условий на компонентный состав речного стока криолитозоны Западной Сибири : автореф. дис. … канд. биол. наук. Томск, 2024. 30 с.

2. РД 52.18.595–96. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды.

3. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с изм. на 30 декабря 2022 г.). М. : М-во здравоохранения РФ, 2022.

4. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China / H. Chen, Y. Teng, S. Lu, Y. Wang, J. Wang // Sci Total Environ. 2015. Vol. 512–513. P. 143–153. https://doi.org/10.1016/j. scitotenv. 2022. 155441

5. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Taylor and Francis Group. Boca Raton London, New York, 2011. 505 p.

6. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review / J. B. Kowalska, R. Mazurek, M. Gasiorek, T. Zaleski // Environ. Geochem. Health 2018. Vol. 40. P. 2395–2420. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z

7. Nemerow N. L. Scientific stream pollution analysis. New York : McGraw-Hill, 1974.

8. Ecological and functional estimation of soil condition within the zone of technogenic impact of Norilsk industrial complex / T. V. Ponomareva, O. V. Trefilova, A. V. Bogorodskaya, O. A. Shapchenkova // Contemporary Problems of Ecology. 2014. Vol. 7, N 6. P. 694–700. https://doi.org/10.1134/S1995425514060109

9. nfluence of Enterprises of the Norilsk Industrial District on Vegetation and Soils (Using the Example of Three Ecological Transects) / N. A. Sokolova, M. Yu. Telyatnikov, A. I. Syso, A. N. Bespalov, D. A. Sokolov // Contemporary Problems of Ecology. 2025. Vol. 18, N 3. P. 290–304. https://doi.org/10.1134/S1995425525700015

10.Anthropogenic Transformation of Soil Properties in Taimyr Landscapes / A. I. Syso, D. A. Sokolov, T. I. Siromlya, Y. V. Ermolov, I. D. Makhatkov // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55, N 5. P. 541–555. https://doi.org/10.1134/S1064229322050088

11. Soil contamination with emissions of non-ferrous metallurgical plants / Y. N. Vodyanitskii, I. O. Plekhanova, E. V. Prokopovich, A. T. Savichev // Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 44, N 2. P. 217–226. https://doi.org/10.1134/S1064229311020177

ECOLOGICAL AND BIOGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF FLOODPLAIN SOILS IN THE NORILSK INDUSTRIAL DISTRICT

D. A. Sokolov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk
Research Institute of Agriculture and Ecology of the Arctic – Branch of the Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center", Norilsk, sokolovdenis@mail.ru

Research aimed studying of regularity of heavy metal and arsenic distribution and revealing of ecologic state of Fluvisols of watercourses, headsprings of which are in borders of largest mining and metallurgy center in Arctic zone of Russian Federation – Norilsk industrial district (NID). The content of As, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co и Cr is determined. Their concentrations were found to be several times higher than the clarke, approximate, and maximum permissible concentrations (APC and MPC). An increase in the concentrations of chemical elements in soils downstream in each of studied watercourses was revealed. Statistical analysis using cluster analysis and the principal component method made it possible to group the studied objects according to the degree of pollution and to identify those where geogenic accumulation of chemical elements predominates. Based on the results of the study, regional background values of gross content and mobile forms of heavy metals for Fluvisols of the NID were proposed. One-factor (PI and I_{geo}) and complex (Zc, NPI, PLI, PERI) soil pollution indices were calculated and analyzed.

УДК 631.445.4(571)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ГЕНЕЗИС ЧЕРНОЗЕМОВ СИБИРИ

А. А. Шпедт

ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск,
shpedtaleksandr@rambler.ru

Наиболее ценным агроресурсом в Сибири являются черноземы, сформированные на огромной площади около 27,4 млн га (табл. 1). Сибирские черноземы распространены на юге азиатской части России и присутствуют практически во всех административных образованиях Сибири. Площади черноземов распределены по субъектам крайне неравномерно, от 20 тыс. га в Томской области, до 9,4 млн га в Алтайском крае. Среди них доминируют типы обыкновенные (42,4 %) и выщелоченные (33,1 %). Значительны также площади черноземов оподзоленных (7,9 %) и южных (14,7 %). Это наиболее ценные почвы, «золотой» фонд пахотных земель, позволяющий вести рентабельное аграрное производство.

Таблица 1

Распределение черноземов по субъектам Сибири, тыс. га

Субъект	Чернозем						Площадь
	оподзоленный	выщелоченный	обыкновенный	типичный	южный	солонцеватый	
Западная Сибирь							
Алтайский край	690,10	3355,92	3014,68	203,84	1953,00	202,40	9419,94
Омская обл.	27,30	288,86	2352,53	–	429,44	51,30	3149,43
Новосибирская обл.	522,53	1350,62	405,97	–	540,21	22,09	2841,42
Кемеровская обл.	649,31	1262,13	–	–	–	–	1911,44
Респ. Алтай	38,33	47,14	85,64	–	144,40	–	315,51
Томская обл.	–	22,30	–	–	–	–	22,30
Тюменская обл.	31,86	143,39	111,52	–	–	–	286,77
Итого	1959,43	6470,36	5970,34	203,84	3067,05	275,79	17 946,81
Восточная Сибирь							
Красноярский край	191,36	2301,06	1563,49	–	56,50	–	4112,41
Забайкальский край	–	–	1968,45	–	-	32,43	2000,88
Респ. Хакасия	32,81	116,55	876,45	–	750,37	–	1776,18
Респ. Бурятия	–	–	672,11	–	-	–	672,11
Иркутская обл.	–	212,40	292,16	–	-	28,28	532,84
Респ. Тува	–	–	241,17	–	100,53	–	341,70
Итого	224,17	2630,01	5613,83	0,00	907,40	60,71	7435,23
Всего	2183,6	9100,37	11584,17	203,84	3974,45	336,50	27 382,93

В Алтайском крае сосредоточено более трети всех сибирских черноземов, среди которых господствуют выщелоченные (35,6 %) и обыкновенные (32,0 %) подтипы. Здесь же формируются типичные черноземы. Свыше 60 % площади чернозёмов распаханы и находятся в эродированном и дефлированном состоянии. В Красноярском крае сформировано более 4,1 млн га черноземов, которые

представлены в основном выщелоченными (55,5 %) и обыкновенными (38,0 %) типами. Регион занимает второе место по распространению черноземов. Примерно 50 % всей площади черноземов находится в пашне, поэтому широко распространены их эродированные и дефлированные разновидности. Вместе с Алтайским краем здесь сосредоточено 50 % всех сибирских черноземов. Омская область находится на третьем месте (3,1 млн га) среди субъектов Сибири по распространению черноземов. Значительные площади черноземных почв, от 1,8 до 2,8 млн га, сосредоточены в Новосибирской и Кемеровской области, Забайкальском крае и Республике Хакасия.

Таким образом, исследуемый макрорегион обладает огромным почвенным потенциалом в виде черноземов разных типов. Наиболее ценные черноземы находятся в Алтайском и Красноярском краях [4].

В формировании черноземов ведущим является гумусово-аккумулятивный процесс, обусловливающий развитие гумусового горизонта, накопление гумуса, элементов питания растений и оструктуривание почвенного профиля. Качественные особенности органического вещества черноземов – гуматный характер гумуса, сложность гуминовых кислот, высокая степень их окисленности и ароматизации.

Основным источником гумусовых веществ в почвах является ежегодная продукция зеленых растений. В евразийский луговых и настоящих степях, к коим приурочены европейские и сибирские черноземы общая продукция (NPP) снижается с запада на восток, соответственно от 37,0 до 10,8 т/га год, и от 32,6 до 8,4 т/га год [1], изменяясь в луговых степях в 3,4, и в настоящих степях, в 3,9 раза. Полагаем, что в основе различий в свойствах между европейскими и сибирскими черноземами России лежит контрастное продуцирование и поступление в почву первичной продукции зеленых растений, которые определяют различия в биогеохимическом круговороте веществ и энергии, устанавливают разную интенсивность почвообразовательного и, в частности, гумусового-аккумулятивного процессов. Получается, что чем восточнее формируются черноземы, тем меньше они продуцируют и в них поступает меньше растительного материала, соответственно сильнее деградируют свойства черноземов, главным образом происходит трансформация органических веществ, в том числе гумусовых веществ.

Нами были проанализированы изменения содержания гумуса в черноземах основных природных округов (ПО) земледельческой части Красноярского края. Исходные данные по содержанию гумуса получены Валентиной Владимировной Чупровой [2] (табл. 2) и включают очень представительную выборку (n = 343). Согласно этим данным, содержание гумуса в черноземах региона закономерно меняется с учетом тепло- и влагообеспеченности. Фиксируется отрицательная тесная корреляционно зависимость между содержанием гумуса в верхнем горизонте и суммой t >10 ºС (r = –0,85±0,03) и положительная тесная с суммой годовых осадков (r = 0,70±0,04). Коэффициент множественной корреляции, отражающий зависимость содержания гумуса от двух климатических параметров еще более весомый (R = 0,88±0,05), что позволило предложить описательную модель типа:

$$Y = 16{,}0652 - 0{,}00604\ X_1 + 0{,}00872\ X_2,$$

где Y – содержание гумуса в верхнем 0–20 см слое почвы, %; X_1 – сумма $t > 10$ ºС, ºС; X_2 – сумма годовых осадков, мм.

Таблица 2

Исходные данные для расчета [2], коэффициенты парной (r), множественной корреляции (R), детерминации (R^2) и уравнение множественной регрессии, описывающие влияние теплообеспеченности и осадков на содержание гумуса в черноземах

Природный округ	Подтип почвы (n – количество почвенных разрезов)	Горизонт, 0–20 см	Гумус, % (Y)	Сумма температур > +10 °С (X_1)	Осадки за год, мм (X_2)
Красноярский	Чернозем оподзоленный (23)	A_1	10,3	1610	426
	Чернозем выщелоченный (108)	A	8,4	1627	373
	Чернозем обыкновенный (53)	A	7,7	1852	364
Канский	Чернозем оподзоленный (4)	A_1	10,8	1560	390
	Чернозем выщелоченный (37)	A	9,0	1678	415
	Чернозем обыкновенный (6)	A	8,5	1818	359
Ачинско-Боготольский	Чернозем оподзоленный (5)	A_1	11,6	1610	495
	Чернозем выщелоченный (4)	A	9,8	1654	480
	Чернозем обыкновенный (3)	A	8,3	1697	465
Южно-Минусинский	Чернозем оподзоленный (14)	A_1	10,3	1760	467
	Чернозем выщелоченный (18)	A	9,2	1828	387
	Чернозем обыкновенный (41)	A	7,5	2039	342
	Чернозем южный (27)	A	4,9	2255	342
	(n = 343)			r = – 0,85±0,03	r = 0,70±0,04
			R = 0,88±0,05; R^2 = 0,77		
$Y = 16{,}065\ 0{,}00604X_1 + 0{,}00872X_2$, по максимальному коэффициенту β2 = 0,272 наибольшее влияние на результат Y оказывает фактор X_2. Ошибка аппроксимации 8,1 %.					

Причем наибольшее влияние на содержание гумусовых веществ в почве оказывают условия влагообеспеченности. Четко прослеживается уменьшение содержания гумуса от черноземов оподзоленных, к черноземам обыкновенным и южным, а также от черноземов Ачинско-Боготольского ПО к черноземам Южно-Минусинского ПО, т. е. с севера на юг и, уже не столь явно – от черноземов Ачинско-Боготольского ПО, к черноземам Красноярского и Канского округов, т. е. с запада на восток.

На огромной территории юга Сибири очень трудно проследить распределение фракций гранулометрического состава почв. Оно зависит от направления и силы основных ветров, орографии, водных постоянных и временных потоков, которые вносят свои коррективы в распределение по территории разных фракций механического состава. Тем не менее общая тенденция такова: в зоне формирования сибирских черноземов к югу и на восток становится больше почв легкого гранулометрического состава, нарастают опесчаненость, каменистость и щебнистость. Легкие, тонкие фракции способны аэрально перемещаться на большие расстояния и откладываться в северных более увлажненных местностях.

Черноземообразование преимущественно идет на четвертичных эоловых, аллювиальных, делювиальных, озерно-ледниковых отложениях. Чаще всего это

лессовидные суглинки, глины и лессы, характеризующиеся легко- средне- тяжелосуглинистым и глинистым гранулометрическим составом.

Следующий важнейший момент в генезисе сибирских черноземов связан с биологической активностью почвы, обусловленной климатическими особенностями. По нашему мнению, накоплению гумуса в сибирских черноземах способствует короткий период биологической активности почв, который обеспечивает консервацию растительного материала, а также сохранение новообразованных и сформированных ранее гумусовых веществ. Это относится, как к естественным природным экосистемам, так и к агроценозам.

Согласно нашим исследованиям, проведенным на черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи в полевых опытах с возделыванием зерновых культур, запасы растительного вещества в слое почвы 0–40 см колебались от 5,0 до 20,0 т/га, причем наибольшие запасы фиксировались на начало парования, после двух лет возделывания зерновых культур, а меньшие на конец парования [3]. Основная масса образовавшегося растительного вещества (80–90 %) поступала в почву в виде корневых и пожнивных остатков, формируя достаточно большие запасы. Накопление растительного материала в почве было обусловлено следующими причинами: широким внедрением в производство севооборотов, предполагающих возделывание зерновых культур в течение ряда лет; химическим составом пожнивных остатков зерновых культур; укороченным периодом биологической активности почв лесостепной зоны Красноярского края.

Литература

1. Титлянова А. А., Вишнякова Е. К., Смоленцева Е. Н. Чистая первичная продукция степных экосистем и причины ее пространственной изменчивости // Почвоведение. 2024. № 3. С. 428–438.

2. Чупрова В. В. Гумусное состояние черноземов // Плодородие черноземов России / под ред. Н. З. Милащенко. М. : Агропромиздат, 1998. С. 632–640.

3. Шпедт А. А. Влияние зеленых удобрений на баланс растительного вещества и лабильные формы гумусовых веществ в черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи : автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Красноярск, 1995. 20 с.

4. Оценка агрочерноземов Сибири на основе современных подходов / А. А. Шпедт, Ю. В. Аксенова, В. Н. Жуланова, В. А. Рассыпнов, М. Г. Ерунова, М. В. Бутырин // Земледелие. 2019. № 4. С. 8–13.

DISTRIBUTION AND GENESIS OF SIBERIAN CHERNOZEM SOILS

A. A. Shpedt
Krasnoyarsk Scientific Center CO RAS, Krasnoyarsk, shpedtaleksandr@rambler.ru

This article analyzes the distribution and genesis of Siberian chernozems, which occupy approximately 27. 4 million hectares. Regular variations in climatic conditions and the distribution of particle size fractions across the territory, net primary plant production, and soil biological activity are crucial factors in the genesis of Siberian chernozems, determining the formation of chernozem subtypes, differences in their regimes and properties, and fertility. The following trend is clearly evident: south of the podzolized and leached chernozem subzone, as well as from west to east, the conditions and properties of chernozems deteriorate, and fertility declines. This relationship occurs between the constraints of climatic conditions and the amount of total primary plant production.

СЕКЦИЯ 1

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ: ГЕНЕЗИС, ЭВОЛЮЦИЯ, КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 631.4

РАСПРОСТРАНЕНИЕ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧВАХ ЮЖНОГО ПРИАНГАРЬЯ

А. А. Будак, С. Л. Куклина

Иркутский государственный университет, Иркутск
sunny.budak01@mail.ru, kukl_swet@mail.ru

Южное Приангарье расположено в зоне контакта сплошной и островной мерзлоты, что создаёт мозаичную картину криогенных явлений, здесь формируются разнообразные криогенные процессы: от сезонного морозобойного растрескивания до мощных реликтовых структур, унаследованных от последнего оледенения [2]. Несмотря на повсеместное распространение и разнообразие криогенных процессов, их региональные особенности в почвах остаются малоизученными.

Нами рассмотрены следы криогенных явлений в почвенных профилях и на поверхности почв региона. Целью работы явилась консолидация разрозненных материалов по почвенному криогенезу и оценка его встречаемости в почвах Южного Приангарья. Данные были получены из архивных источников – дипломных работ и научных трудов сотрудников кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ за 1954–2024 гг., хранящихся в Восточно-Сибирском музее почвоведения им. И. В. Николаева. Ввиду большого количества источников, они в данной работе не приводятся. А также рассматривались космоснимки территории Приангарья и выявлялись территории со следами ярко выраженного криогенного рельефа.

Были использованы теоретические методы – анализ данных, сравнение, обобщение и практические методы – морфодиагностический, дешифрирование космоснимков.

Проявления криогенных процессов в почвах. Криогенные процессы – это совокупность физических, химических и биологических изменений, происходящих в почвах и грунтах под влиянием отрицательных температур.

Формы проявления экзогенных геологических процессов часто разделяют на три группы: I группа – собственно криогенные процессы: морозобойное растрескивание, криогенное выветривание, морозное пучение, наледообразование, термокарст. II группа – флювиальные и абразионные процессы, вызванные воздействием водных масс на мерзлые и оттаивающие породы: термоабразия, термоэрозия, заболачивание. III группа – гравитационные процессы: солифлюкция, сплывы, оползание, курумообразование [2].

Кроме геологических процессов можно выделить криогенные процессы, которые связаны непосредственно с почвой. К ним можно отнести, например, формирование криогенной структуры (сланцеватость) горизонтов, миграцию почвенных растворов, тиксотропию горизонтов, надмерзлотную ретинизацию гумуса, железа и др. [2].

На основе массива данных составлена картосхема встречаемости следов криогенных процессов в изученных почвах Южного Приангарья (рис.).

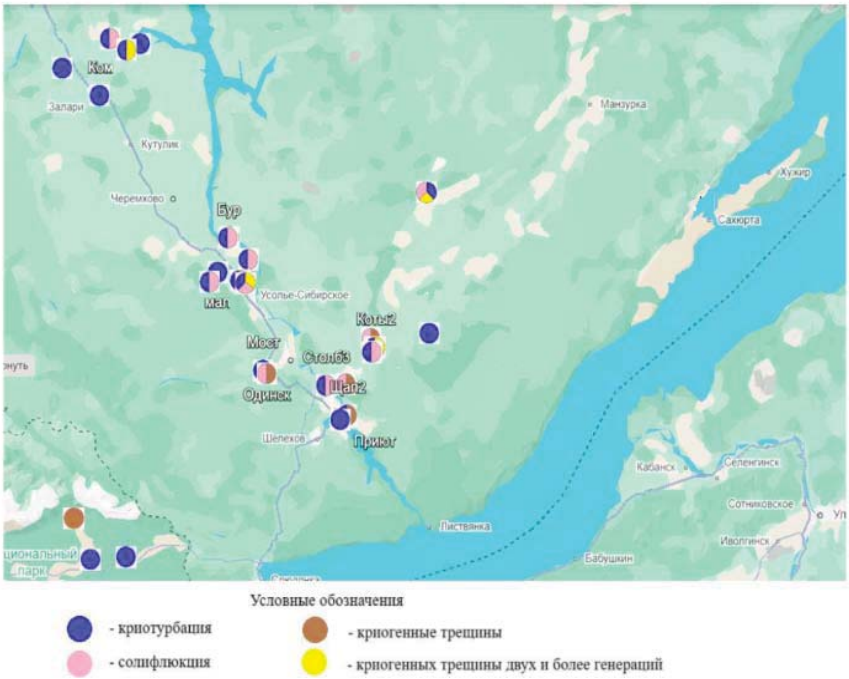


Рис. Картосхема распространения обнаруженных следов криогенных процессов в почвах

Разнообразие криогенных процессов в почвенных профилях. Морозобойное растрескивание является наиболее распространённым процессом, встречается в Ангарском, Иркутском, Усольском районе Иркутской области, Тункинском районе республики Бурятия.

Современные трещины возникают на поверхности и проникают вглубь профиля, чаще на глубину 15–20 см, палеотрещины заложены с кровли горизонта Cса могут достигать мощности до 1,5–2 м. Подобные мощные палеотрещины относятся к сартанскому времени и не имеют аналогов в наши дни. Также могут встречаться криогенные клинья, имеющие сложный генезис, например, на геоархеологическом объекте (ГАО) «Стоянка «Мальта-3» зафиксированы мощные криогенные трещины трёх генераций, которые были заложены в позднесартанское время (около 10 тысяч лет назад) и в них вложены более молодые голоценовые трещины.

Криотурбация – еще один распространенный процесс в почвах Приангарья. Это процесс морозного механического перемещения почвенных масс в пределах какого-либо горизонта или всего профиля с образованием специфического криотурбационного строения. В результате постоянного давления, возни-

кающего под действием повторных циклов промерзания-оттаивания, происходит перемешивание почвенных горизонтов [2]. Почвенные профили с различной степенью проявления криотурбаций обнаруживались по долинам рек Иркут, Белая, Китой на территории Иркутской области.

Криогенный крип (пластическая деформация) зафиксирован в рассматриваемых работах единожды – на ГАО «Стоянка «Мальта-3» в виде «захлопнувшегося» морозобойного клина, образованного при движении отложений по склону. Такая деформация слоёв становится возможной при деградации мерзлоты.

Солифлюкция – процесс вязкого и вязкопластичного течения дисперсного материала вниз по склону [2]. Солифлюкционные слои на разной глубине (20–200 м) в профиле были зафиксированы в Иркутской области в окрестностях г. Залари, п. Усть-Орда, а также на ряде ГАО: «Приют Сукачева», «Щапова-2» (г. Иркутск), «Коты Кудинские» (Иркутский район), «Китойский мост» (Ангарский район), «Буреть Верхняя» и «Буреть Нижняя» (Усольский район), а так же на ГАО «Таловка Нуган 1» (Тункинский район, республика Бурятия). Данный процесс протекал в раннесартанское время и имеет возраст примерно 24–17 тыс. л. н.

Бугры пучения в виде небольших кочкообразных поднятий встречаются повсеместно на территории Южного Приангарья, однако в рассмотренных работах не описываются. Имеет одно описание достаточно большого бугра пучения, который сформировался на дне карьера на территории ГАО «Стоянка «Мальта-3», чему способствовало избыточное увлажнение почвы и вероятно, остатки «островной» мерзлоты под ним. Бугры пучения или гидролакколиты образуются за счёт выдавливания верхних слоёв вверх под давлением между нижней границей многолетнемёрзлых пород и верхней границей сезонномёрзлого слоя. Образованию бугров способствуют избыточное увлажнение в отрицательных формах рельефа, суглинистый/глинистый состав отложений и плохое прогревание в летнее время [1].

Термоабразия так же описывается в единичной работе. В почвенном разрезе, заложенном в верховьях долины р. Куда вблизи д. Байтог, видны фрагменты, содержащие часть гумусового и срединного горизонтов, которые резко отличаются по морфологическим признакам от вмещающего их горизонта. Фрагменты, предположительно, отделились от бровки террасы и переместились вниз по склону (на пойму), где были погребены. Острые края и крупные блоки свидетельствуют о том, что фрагменты были промёрзшими во время перемещения.

Криогенная плитчатость с отмытыми песчано-пылеватыми зёрнами кварца и полевых шпатов (присыпка SiO_2) на поверхности плиток характерна для нижних горизонтов почв региона и распространена повсеместно. Образование такой структуры связано с замерзанием в почве мелкой сетки (шлиров) льда. Но данный процесс не фиксируется в работах, а лишь «угадывается» при рассмотрении описания плитчатой структуры в нижних горизонтах почв

Криогенные процессы в рельефе. С помощью дешифрирования космоснимков на территории Южного Приангарья обнаружены следующие виды криогенного рельефа.

Хорошо выраженный полигональный рельеф выявлен в Братском районе вблизи п. Илир, на террасах и высокой пойме реки Белая Усольского района вблизи с. Тайтурка. Полигональный рельеф образовался в результате морозобойного растрескивания, начавшегося в холодное сартанское время. В настоящее время эти структуры представляют собой бугристо-западинный рельеф, унаследованный от холодной эпохи. Современное растрескивание идёт по древним трещинам, но интенсивность процесса значительно меньше, чем в прошлом.

Активное курумообразование зафиксировано на склонах Тункинского района (Республика Бурятия), а также на склонах вокруг оз. Байкал, в Шелеховском районе на склонах Олхинского плато. Курумы образуются благодаря морозному выветриванию, поднятию обломков на поверхность криогенным пучением и медленному передвижению материала вниз по склону.

На основе анализа и обобщения данных установлено, что наиболее часто в почвенных профилях Южного Приангарья встречаются морозобойные трещины, криотурбации, солифлюксий. Криогенные явления могут оставлять заметные следы на «дневной» поверхности, такие как полигональный рельеф, курумники.

Большая часть выявленных процессов территориально приурочена к поймам рек. Речные долины отличаются повышенной увлажненностью за счёт близости водотоков и грунтовых вод и увеличенного поверхностного стока, что усиливает вероятность развития и силу криогенных процессов. Наиболее значимыми источниками информации являются геоархеологические объекты, которые имеют большую площадь вскрытия почвенной толщи и чаще всего, они так же расположены вдоль речных долин.

Формирование и сила проявления разнообразных криогенных процессов в Южном Приангарье определяется комплексом природных факторов. Резко континентальный и континентальный климат (холодная продолжительная зима, короткие переходы от зимы к лету), обильное выпадение осадков в осенний период играют ключевую роль, задавая общий режим промерзания и оттаивания почв и грунтов [3]. Орографическая неоднородность территории способствует перераспределению тепла и влаги, что в дальнейшем влияет на отсутствие или появление криогенеза в почвенных профилях. А наличие на рассматриваемой территории осадочных пород, которые при выветривании образуют глинистые и тяжелосуглинистые почвообразующие породы, предопределяет более активное проявление криогенеза в «тяжелых» почвах.

Литература

1. Воробьева Г. А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья : монография. Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 2010. 205 с.

2. Макеев О. В. Криология почв : монография. М. : РАН, 2019. 462 с.

3. Михайлов Н. И. Сибирь. Физико-географический очерк : учеб. пособие. М. : Гос. изд-во геогр. лит., 1951. 288 с.

THE SPREAD OF CRYOGENIC PROCESSES IN THE SOILS OF THE SOUTHERN ANGARA REGION

A. A. Budak, S. L. Kuklina
Irkutsk State University, Irkutsk
sunny.budak01@mail.ru, kukl_swet@mail.ru

The present study summarizes data on the occurrence of cryogenic processes in soils of the Southern Angara region based on the analysis of archival materials from Irkutsk State University. It has been established that frost cracks, cryoturbation and solifluction are the most frequently encountered features in soil profiles. Cryogenic phenomena leave discernible traces on the land surface, namely polygonal relief and kurums. The majority of the identified processes are confined to river floodplains, where increased humidity enhances the development and intensity of cryogenic processes. Geoarchaeological sites represent the most significant sources of information. The formation of cryogenic processes is determined by a complex of natural factors, including a sharply continental climate, abundant autumn precipitation, orographic heterogeneity of the territory, and the presence of clayey and heavy loamy soil-forming rocks.

УДК 631.472.6(571)

РАЗЛИЧНЫЕ ФОРМЫ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВАХ ПОДТАЙГИ ИРКУТСКО-ЧЕРЕМХОВСКОЙ РАВНИНЫ

С. С. Быковская[1], А. А. Козлова[1,2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск
[2]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
lana.bykovskaya.04@list.ru, allak2008@mail.ru

Оксидогенез железа является одним из основных элементарных почвенных процессов, особенно значимых в гумидных регионах. Железо выступает важным педоморфным элементом, определяющим цвет почвенных горизонтов, является диагностическим показателем генезиса, эволюции и антропогенной трансформации почв [2; 4; 5]. Основными его источником в почвах являются почвообразующие горные породы.

Скопления железа в почвах могут быть как реликтовыми, так и современными, железо в них представлено наибольшим количеством минералов, а также свободными окисными и закисными соединениями различных степеней окристаллизованности и растворимости. С накоплением или элювиированием свободного железа связано проявление ряда элементарных почвообразовательных процессов, контролируемых соотношением и распределением его свободных форм [2].

С. В. Зонн выделил наиболее удачную схему разделения соединений железа на группы [4]. Валовое железо было разделено на две группы соединений:

1) силикатное, входящее в состав кристаллических решеток первичных и вторичных минералов;

2) несиликатное (свободное) не входящее в кристаллические решетки первичных и вторичных минералов. Данная форма представляет собой группу окисных, гидроокисных и закисных соединений, различно окристаллизованных, аморфных, включающие железоорганические, обменные и водорастворимые соединения. Выделение несиликатного и силикатного соединений железа характеризует степень выветрелости, а соотношение этих групп отражает тип или характер выветривания-почвообразования.

По соотношению силикатного и несиликатного железа С. В. Зонн [там же] предложил характеризовать почвы, на их принадлежность к одной из трех групп:

1) ферраллитных – с содержанием несиликатного железа до 72–88 %, с минимальными резервами железа в силикатах. В ферралитных почвах количество несиликатного железа может снизиться до 56 % при большом накоплении алюминия;

2) феррсиалитные – с содержанием силикатного железа от 22 до 63 %, несиликатного от 32 до 50–79 %;

3) сиаллитные – с содержанием силикатного железа 54–83 %, а несиликатного 17–46 %.

Свободные соединения железа (несиликатное железо, $Fe_{нс}$) С. В. Зонн [там же] разделил на три формы соединений:

1. Окристаллизованные ($Fe_{окр}$): сильно- и слабоокристаллизованные;

2. Аморфные ($Fe_{а}$): связанные с гумусом ($Fe_{орг}$) и не связанные с гумусом – железистые (минеральное подвижное) ($Fe_{мин}$);

3. Подвижные соединения: обменные и водорастворимые (ионные).

Методы определения различных форм железа [1; 4; 5]:

– валовое железа – рентгенфлуоресцентным методом (РФА);

– несиликатное (свободное) – методом Мера-Джексона;

– аморфное – методом Тамма;

– связанное с органическим веществом – методом Баскомба;

– окристаллизованное – по разности между железом по Меру-Джексону и Тамму;

– минеральное подвижное – по разности между железом по Тамму и по Баскомбу.

Были изучены три почвенных разреза дерново-подзолистой почвы, бурозема оподзоленного и бурозема темного остаточно-карбонатного, расположенных в пределах подтаежной зоны Иркутско-Черемховской равнины. Во всех исследуемых почвах отсутствует ярко выраженная дифференциация валового железа по профилю, что говорит о заторможенности процессов выветривания минералов и оподзоливания. Содержание валового железа варьирует от 2,77 до 5,32 %. Основное содержание железа в почвах представлено силикатными формами (примерно 70–80 %), входящими в состав кристаллических решеток первичных и вторичных минералов. Это позволяет отнести почвы к группе сиаллитных по классификации С. В. Зонна [4] (табл.).

Таблица 1

Содержание различных форм железа в почвах подтаежных ландшафтов Иркутско-Черемховской равнины

Номер разреза. Название почвы	Горизонт, глубина, см	$Fe_{вал}$, %	от $Fe_{вал}$, в %				
			$Fe_{нс}$	$Fe_{окр}$	$Fe_{а}$	$Fe_{орг.}$	$Fe_{мин.}$
Дерново-подзолистая почва	AY 0–5	4,08	25	9	16	6	10
	EL 5–15	3,82	32	14	18	3	15
	BEL 15–54	3,87	28	12	16	1	15
	BT 54–75	3,78	19	6	13	1	12
	C 75–100	3,51	15	3	12	0	12
Бурозем оподзоленный	AYe 0–15	4,38	23	18	5	4	1
	BM 15–94	5,10	19	16	3	2	1
	C 94–120	5,32	19	17	2	1	1
Бурозем темный остаточно-карбонатный	AUca 0–38	4,25	29	24	5	2	3
	BMca 38–77	3,13	28	25	3	2	1
	Cca 77–130	2,77	35	32	3	2	1

Примечание: $Fe_{вал}$ – железо валовое, $Fe_{нс}$ – железо несиликатное (по Меру-Джексону), $Fe_{окр}$ – железо окристаллизованное, $Fe_{а}$ – железо аморфное (по Тамму), $Fe_{орг.}$ железо, связанное с органическим веществом (по Баскомбу), $Fe_{мин.}$ железо минеральное подвижное.

Количество несиликатного железа изменяется от 15 до 35 %. При этом были выделены различия между почвами. В дерново-подзолистой почве из несиликатных форм преобладает аморфное железо, высокое содержание органического железа связано с кислой реакцией среды, повышенной влажностью и аккумуляцией гумуса. В буроземах оподзоленном и темном остаточно-карбонатном преобладают окристаллизованные формы железа, что говорит о более сухих условиях формирования, способствующих дегидратации гидроксидов железа и их перехода в оксидную форму. В буроземе темном остаточно-карбонатном содержание окристаллизованного железа высокое по всему профилю, что может свидетельствовать о реликтовости процессов выветривания, так как в настоящее время эти процессы заторможены из-за суровости климата.

В исследуемых почвах были определены ряд показателей соотношения различных форма железа, позволяющих судить о степени, темпах и интенсивности процессов выветривания и почвообразования. Так, показатель выветрелости почвенной массы показывает степень разрушенности минеральной части почв под действием химического, физического и биологического выветривания: чем меньше это отношение, тем выше степень выраженности процессов выветривания (рис.). Наиболее выветрелым по этому показателю оказался бурозем темный остаточно-карбонатный, а наименее – бурозем оподзоленный. Дерново-подзолистая почва заняла промежуточное положение.

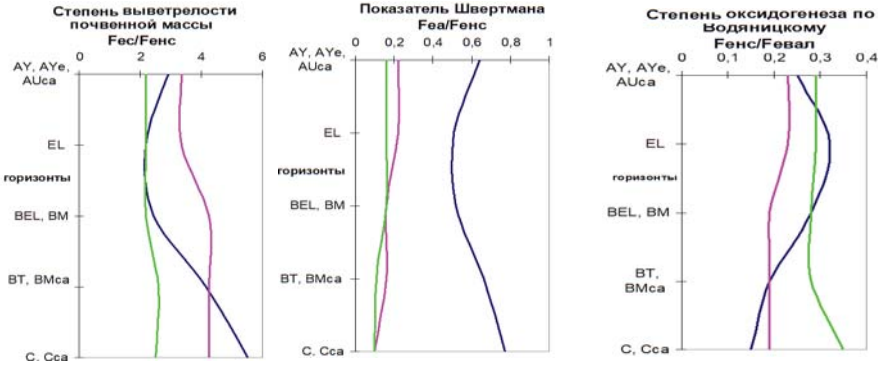


Рис. Показатель степени выветрелости по Зонну ($Fe_c/Fe_{нс}$), показатель Швертмана ($Fe_а/Fe_{нс}$), показатель оксидогенеза по Водяницкому ($Fe_{нс}/Fe_{вал}$)

- дерново-подзолистая почва;
- бурозем оподзоленный;
- бурозем темный остаточно-карбонатный

С помощью коэффициента Швертмана можно получить представление о соотношении железа аморфных и окристаллизованных соединений, а также о степени старения и кристаллизации свободных окислов и гидроокислов железа. В России коэффициент Швертмана используют для оценки степени гидроморфизма почв гумидных ландшафтов [3]. Коэффициент растет по мере увеличения

степени гидроморфизма почв. Так, среди исследуемых почв наиболее высокий показатель Швертмана у дерново-подзолистой почвы. В ней среди несиликатных форм железа преобладают аморфные, что указывает на молодость и свежесть процессов почвообразования. По мере увеличения гидроморфизма в почве показатель увеличивается, особенно в нижней части профиля. В буроземе оподзоленном и буроземе темном остаточно-карбонатном коэффициент Швертмана имеет низкие значения из-за того, что среди несиликатного железа преобладает окристаллизованная форма, а количество аморфного железа незначительно. Это говорит о недостатке влаги, старении и кристаллизации свободных оксидов и гидроксидов железа.

Степень оксидогенеза по Ю. Н. Водяницкому [2] определяется по соотношению несиликатных (свободных) соединений железа к его валовому содержанию в почве. Элювиальная толща дерново-подзолистой почвы имеет низкую, а иллювиальная – очень низкую степень оксидогенеза. В буроземе оподзоленном она оказалась очень низкая за счет малой влажности почвы, ведущей к кристаллизации свободных оксидов и гидроксидов железа. Показатель оксидогенеза в буроземе темном остаточно-карбонатном также имеет низкие значения.

В целом из полученных данных вытекает ряд выводов:

1. Содержание и соотношение различных форм железа в исследуемых почвах подтайги Иркутско-Черемховской равнины указывает на заторможенность в них процессов выветривания и почвообразования. Валовое железо в основном представлено силикатными формами. Низкое содержание несиликатного железа свидетельствует о слабом выветривании минералов и молодости почвообразования.

2. Несиликатное железо составляет около 30 % от валового. В дерново-подзолистой почве преобладает аморфная его форма, что связано с повышенной влажностью почвы и более кислой реакцией среды. В буроземах железо находится в подавляющем большинстве в окристаллизованной форме и только вверху профиля аморфного железа несколько выше, чем по всему профилю. Это обусловлено большей влажностью и гумусностью верхней толщи буроземов.

3. Высоким содержанием гумуса объясняется доминирование железа, связанного с органическим веществом в буроземах, особенно в буроземе оподзоленном. Напротив, в дерново-подзолистой почве среди аморфных форм преобладает минеральное железо, за счет повышенной влажности и кислой реакции среды, способствующих процессу оподзоливания.

4. По показателю степени выветрелости почвенной массы $Fe_{с}/Fe_{нс}$ наиболее выветрелой почвой оказался бурозем темный остаточно-карбонатный, наименее – бурозем оподзоленный. Дерново-подзолистая почва заняла промежуточное положение. По этому показателю все исследуемые почвы можно отнести к группе сиаллитных почв.

5. Повышенными значениями коэффициента Швертмана выделяется дерново-подзолистая почва, что говорит об активности в ней процессов выветривания и почвообразования. В буроземах он имеет минимальные величины и это указывает на высокую степень старения коллоидов и кристаллизацию свободных оксидов и гидроксидов железа. При этом низкая степень ожелезненности и

оксидогенеза подтверждают заторможенность процессов выветривания и почвообразования в почвах подтайги региона.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы 126020516558-5).

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв: Руководство / под ред. А. В. Соколова. М. : Наука, 1975. 656 с.

2. Водяницкий Ю. Н. Химия и минералогия почвенного железа. М. : Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева РАСХН, 2003. 238 с.

3. Зайдельман Ф. Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. М. : Агропромиздат, 1991. 320 с.

4. Зонн С. В. Железо в почвах. М. : Наука, 1982. 207 с.

5. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.

VARIOUS FORMS OF IRON IN SOILS OF THE SUB-TAIGA OF THE IRKUTSK-CHEREMKHOVSKAYA PLAIN

S. S. Bykovskaya, A. A. Kozlova
Irkutsk State University, Irkutsk
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk
lana.bykovskaya.04@list.ru, allak2008@mail.ru

Iron oxidogenesis in soils is assessed as a widespread natural landscape-pedochemical process of inheritance, formation, accumulation, and transformation of iron oxides and hydroxides, both in newly formed soils and in the fine earth of soils. The aim of this study was to establish patterns of content and ratio of iron forms as a diagnostic, pedomorphic element in the soils of the subtaiga of the Irkutsk-Cheremkhovo plain. The following soil types were studied: sod-podzolic, podzolized burozem, and dark residual-carbonate burozem. It was established that in all the studied soils there is no pronounced differentiation of total iron along the profile, which indicates the inhibition of the processes of mineral weathering and podzolization. The main content of iron in the soils is represented by silicate forms (approximately 70–80 %), which are part of the crystal lattices of primary and secondary minerals. This allows us to classify the soils into the siallitic group.

УДК 631.4

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ ХРЕБТА БАСЕГИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

А. Г. Голдобина, Е. И. Мальцева, В. В. Дурыманова, И. А. Самофалова

Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, samofalovairaida@mail.ru

Введение. В горных районах из-за более суровых климатических условий (низкие температуры, ограниченная доступность влаги) биологическая активность может быть ниже, чем в равнинных зонах. В контексте горных почв эта активность играет ключевую роль в разложении органического вещества, формировании гумуса и круговороте элементов и в целом в формировании устойчивости горных экосистем. Мониторинг этого процесса важен для рационального использования горных территорий и предотвращения деградации почв. Однако мониторинг традиционными методами трудоемок.

Одна из важнейших функций почвы в биосфере заключается в регулировании цикла углерода [6]. Основными микробиологическими индикаторами процессов цикла углерода выступают углерод микробной биомассы, почвенное дыхание, скорость разложения и минерализации органического вещества почв, а также ферментативная активность.

Разложение компонентов почвенного органического вещества (ПОВ) обычно оценивают по убыли массы материала в сетчатых мешочках, изменению запасов подстилки, а также по образованию $C–CO_2$ методом закрытых камер [7]. Около 10 лет назад ученые впервые исследовали микробиологическую активность почв методом «чайного пакетика» [9]. Данный подход позволяет оценить, насколько быстро почвенные микроорганизмы разлагают растительные остатки разного химического состава и доступности к распаду на примере зеленого чая и чая ройбуш [8]. Результаты учёных показали, что почвенные бактерии в лесотундре и тайге разлагали органику медленнее, чем микробы из почв степей, лесостепей и смешанных лесов. Индекс «чайных пакетиков» (tea bag index, TBI) позволяет стандартным методом сравнить скорость начальных стадий трансформации органического вещества в разных условиях [2].

Скорость разложения растительных остатков складывается из двух процессов: стабилизация и разложение. Й. А. Кеускамп с соавторами [5] предложил метод для оценки фактора стабилизации (stabilization factor, S) и константы скорости разложения лабильной фракции (decomposition constant, k) – так называемый индекс «чайных пакетиков» (Tea bag index, TBI). Показатель стабилизации (stabilization factor, STBI) оценивает, какая часть лабильной фракции органического вещества переходит в трудноразлагаемые соединения, а константа скорости разложения (decomposition constant, kTBI) – насколько быстро идет минерализация [3].

Цель исследования: оценить показатель разложения субстрата (потеря массы зеленого и черного чая) и фактора стабилизации (STBI) в градиенте высот на территории хребта Басеги (Средний Урал).

Материалы и методы. Исследования проводили в почвах хребта Басеги, полностью включенного в состав «Государственного заповедника «Басеги», расположенного в восточной части Пермского края на западном макросклоне Среднего Урала. Территория отличается среднегорным рельефом с максимальными высотами до 994 м (гора Средний Басег). Хребет вытянут с севера на юг на 24 км и включает три основных вершины: Северный, Средний и Южный Басег. Климат умеренно-континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким прохладным летом. Основной растительностью являются коренные елово-пихтовые леса среднеуральской тайги, а в верхнем поясе (выше 700–800 м) распространены горные тундры с мхами, лишайниками и карликовыми формами кустарников. Установлен порядок вертикальных почвенных зон на склонах: 1) буроземы 315–655 м; 2) серогумусовые органо-аккумулятивные на высоте 570–760 м; 3) литоземы 755–930 м, 4) подбуры, 930–950 м н. у. м. [3; 4].

На территории заповедника проложена экологическая тропа, которая была взята за основу ключевого участка. По мере подъема на вершину Северного Басега происходит смена растительности высотных ландшафтов и крутизны склона. Определены 7 плащадок, различающихся по высоте и преобладающей растительности (рис. 1). Таким образом, определены точки в высотном градиенте 630–850 м н. у. м., в которых проведена инкубация чайных пакетиков.



№ точки (№ разреза), alt. м н. у. м.	Высотный ландшафт	Почва
7 (103), 849	Переходная зона криволесье-тундра:	Подзол ИГЖ
6 (8–20), 818	Переходная зона криволесье-тундра	Литозем грубогумусовый
5 (7–20), 805	Переходная зона криволесье-тундра	Подбур ИГЖ
4 (118), 751	Криволесье березово-таволговое	Подзол ИГ
3 (4–20), 696	Луг-криволесье (травяный елово-мелколиственный лес)	Бурозем элювиированный
2 (3–20), 654	Луг разнотравный	Литозем гумусовый
1 (111), 631	Влажный луг разнотравный	Перегнойно-глеевая ожелезненная торфянистая

Рис. 1. Схема закладки чайных пакетиков на склоне Северного Басега

В качестве стандартного материала для эксперимента с разложением использовали чай Tess в пирамидках: зеленый и фруктовый. Экспозиция составила 7 дней. В почву на глубину 8 см закладывали пакетики в пятикратной повторности. По окончании эксперимента рассчитывали потерю массы как разницу между исходной и итоговой массой зеленого чая и фруктового в каждом пакетике. Перед взвешиванием содержимого из пакетиков удаляли вросшие корни и высушивали образцы при 80°C в течение 24 ч. После взвешивания образцы

прокаливали при 500°С, и массу золы вычитали из сухой массы, чтобы исключить загрязнение образцов почвой (доля золы, исходно содержащейся в чае очень мала и составляет 0,003 %). Фактор стабилизации STBI был рассчитан по формуле S = 1 – ag/Hg, где ag – отношение между потерей массы и исходной массой образца зеленого чая, а Hg – стандартная величина гидролизуемой (лабильной) фракции зеленого чая, равная 0,842 г/г [1].

Математическая обработка проведена с использованием корреляционного анализа програмного обеспечения Exel, уровень значимости 0,1 для STBi и 0,05 для высоты.

Результаты исследования. В пределах ключевого участка по морфологическому описанию выделены почвы следующих отделов: альфегумусовые, структурно-метаморфические, органо-аккумулятивные, литоземы, глеевые.

Исследование потерь массы зелёного и фруктового чая в высотном диапазоне 631–849 м на территории хребта позволило выявить следующие тенденции. Потеря массы зелёного чая (рис. 2) максимальна в подбуре на высоте 805 м (51,20 %) и в литозёме грубогумусовом на высоте 818 м (50,67 %), что указывает на наиболее благоприятные условия для микробной деструкции растительных остатков на нижней границе криволесье-тундра. В целом потеря массы зелёного чая в почвах коючевого участка варьировала в диапазоне 48,0–51,0 %. Таким образом, можно сказать, что почвы незначительно различаются по разложению легкорастворимых соединений, входящих в состав зеленого чая.

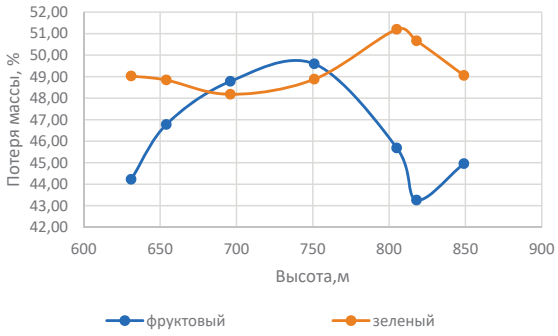


Рис. 2. Потеря массы чайными пакетиками

Потеря массы фруктового чая максимальна в подзоле на высоте 751 м (49,60 %) и в бурозёме на высоте 696 м (48,79 %), тогда как на высоте 818 м наблюдается её минимум (43,26 %), что свидетельствует о высокой чувствительности разложения сложных субстратов к ухудшению климатических условий. На высотах 696 и 751 м зафиксировано уникальное явление, когда потеря массы фруктового чая превышает потерю массы зелёного, что может указывать на специфику микробного сообщества бурозёма и подзола (возможно, доминирование грибов-деструкторов).

Максимальная контрастность между разложением двух типов чая (разница 7,41 %) наблюдается в литозёме грубогумусовом перегнойно-торфяном на высоте 818 м, что свидетельствует о высокой специализации микробного сообщества на разложении легкоразлагаемых субстратов в условиях переходной зоны криволесье-тундра.

Установлена умеренная положительная связь между высотой местности и потерей массы зелёного чая ($r = 0{,}56$), которая может рассматриваться как тенденция, так как достоверность не доказана. С высотой разложение лабильной фракции (зелёный чай) в почве усиливается. Вероятное объяснение – не столько микробиологическая активность, сколько усиление процессов выщелачивания в условиях повышенного увлажнения в верхней части склона. Водорастворимые соединения зелёного чая активно вымываются из пакетиков, что имитирует высокую «скорость разложения».

Потеря массы зелёного чая отрицательно коррелирует с содержанием в почве обменных ионов Al^{3+} и ΔpH ($r = –0{,}65$ и $–0{,}71$ соответственно).

Связь между высотой и потерей массы фруктового чая оказалась статистически незначимой ($r = –0{,}26$, $t = –0{,}60$). Это указывает на то, что рекальцитрантная (трудноразлагаемая) фракция органического вещества слабо реагирует на высотный градиент в пределах исследованного диапазона (600–850 м). Разложение фруктового чая, вероятно, контролируется локальными почвенными свойствами, а не высотным климатическим градиентом.

Расчёт константы разложения (k) по стандартной формуле TBI дал отрицательные значения (от –0,117 до –0,001), что указывает на превышение потери массы чёрным чаем стабильной фракции, рассчитанной по модели. Это может быть связано с использованием фруктового чая вместо стандартного ройбуса, а также с высокой биологической активностью или выщелачиванием в условиях повышенной влажности. В связи с этим в работе представлены только значения фактора стабилизации S.

Фактор стабилизации STBI (рис. 3) варьирует от 0,42 до 0,47, демонстрируя тенденцию к снижению в переходной зоне криволесье – тундра (800 м).

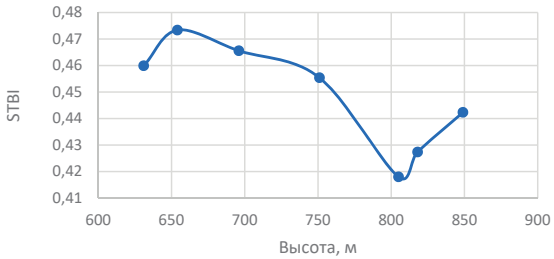


Рис. 3. Фактор стабилизации чайных пакетиков (STBI)

Выявлена сильная отрицательная связь между высотой местности и STBI ($r = –0{,}81$, статистически достоверная связь при 0,05 уровне значимости).

В высотном диапазоне от 600 до 850 м на территории хребта Басеги закономерно сменяются типы почв, что сопровождается изменением их стабилизационной способности по отношению к ПОВ (фактор STBI).

Так, на высоте 633 м на влажном разнотравном лугу формируется перегнойно-глеевая ожелезненная торфянистая почва, что создаёт анаэробную обстановку. Переувлажнение способствует консервации растительных остатков, однако фактор стабилизации STBI здесь не достигает максимальных значений, поскольку анаэробные условия подавляют активные процессы гумусообразования и синтез стабильных форм гумуса. На высотах 655 и 799 м литозём гумусовый и бурозём элювиированный (соответственно) характеризуются хорошим гумусонакоплением. Значения фактора стабилизации здесь находятся на среднем уровне (STBI ~0,47). Бурозём как более оструктуренная и биологически активная почва демонстрирует сбалансированные процессы разложения и гумификации, что обеспечивает устойчивое накопление стабильного органического вещества. На высоте 751 м в подзоле иллювиально-гумусовом характерно накопление грубых ПОВ преимущественно в альфегумусовом горизонте – значение STBI сохраняется на уровне ~0,46, что лишь незначительно ниже, чем на предыдущих высотах. На высотах 805и 814 м сформированы подбур иллювиально-гумусово-железистый и литозём грубогумусовый перегнойно-торфяный. Несмотря на различия в генезисе и свойствах, почвы демонстрируют близкие значения фактора стабилизации (STBI ~0,42–0,43). Подбур характеризуется активным накоплением аморфных железистых соединений, что обеспечивает тесную положительную связь ионов Al3+ со стабилизацией ПОВ. Корреляционный анализ STBI обнаружил сильную положительную связь с содержанием Al^{3+} (r = 0,67), что указывает на участие ионов Al3+ в механизмах стабилизации ПОВ в кислых почвах. Литозём, напротив, является более грубогумусным и маломощным, и его стабилизационная способность снижена. На максимальной высоте 854 м в подзоле иллювиально-гумусово-железистом фиксируется минимальная стабилизация ПОВ (STBI ~0,44). Столь низкие значения обусловлены суровыми климатическими условиями: коротким вегетационным периодом и глубоким промерзанием почвы. Процессы гумификации оказываются подавленными, а в почве преобладает консервация слаборазложившихся органических остатков без их активной трансформации в стабильные гумусовые соединения.

Выводы. Разложение лабильной органики (по зелёному чаю) в почвах в градиенте высот 630–850 м демонстрирует тенденцию к росту с увеличением высоты, предположительно за счёт выщелачивания, тогда как разложение более трудногидролизуемых соединений (по фруктовому чаю) от высоты не зависит. Среди химических свойств почв наиболее тесные связи с параметрами STBI обнаружены для Al^{3+}, что подтверждает важность кислотно-основных условий и подвижного алюминия в процессах стабилизации органического вещества в горных почвах Среднего Урала. Разложение зеленого чая так же имеет тесную обратную связь с содержанем ионов Al^{3+} и ΔpH. Таким образом биологическую активность горных почв хребта Басеги (склона Северного Басега) можно оценить как среднюю по факторам стабилизации и разложения ПОВ.

Полученные данные позволяют уточнить прогностические модели углеродного цикла в уязвимых горных ландшафтах и верифицировать применимость глобального протокола TBI для мониторинга антропогенно не нарушенных почвенных покровов в экстремальных условиях.

Литература

1. Елумеева Т. Г., Чередниченко О. В., Гаврилова Т. М. Стабилизация и скорость разложения стандартного материала в травяных сообществах лесной зоны // Экосистемы. 2021. № 25. С. 12–21.

2. Содержание органического вещества и скорость разложения стандартного материала в почвах высокогорных фитоценозов Тебердинского национального парка / Т. Г. Елумеева, М. И. Макаров, М. С. Кадулин, К. Н. Замалетдинова, Т. И. Малышева, Д. М. Гулов, А. А. Ахметжанова, М. А. Чепурнова, В. Г. Онипченко // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1628–1643.

3. Кондратьева М. А., Самофалова И. А. Диагностика почв подгольцового пояса Среднего Урала // Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове : сб. материалов VIII Междунар. науч. конф., посвящ. 95-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ, 16–19 сент. 2025 г., г. Томск, Россия / отв. ред. С. П. Кулижский. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 2025. С. 31–35.

4. Самофалова И. А. Геомоделирование почвенного покрова на основе обобщённого пространственного анализа территории заповедника «Басеги» (Средний Урал) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : материалы Междунар. конф. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2020. Т. 26, ч. 4. С. 131–146.

5. Tea Bag Index: A novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems / J. A. Keuskamp, B. J. J. Dingemans, T. Sandén, J. M. Sarneel, M. M. Hefting // Methods in Ecology and Evolution. 2013. Vol. 4, N 11. P. 1070–1075.

6. Primers: functional genes for nitrogen-cycling microbes in oil reservoirs / C. J. Smith, B. A. McKew, A. Coggan, C. Whitby // Hydrocarbon and Lipid Microbiology Protocols. Berlin : Springer, 2015. P. 207–241.

7. Microbial indicators for soil quality / M. Schloter, P. Nannipieri, S. J. Sørensen, J. D. van Elsas // Biology and Fertility of Soils. 2018. Vol. 54, N 1. P. 1–10.

8. Чайные пакетики рассказали о микробной активности в почвах европейской части России // Научная Россия. URL: https://scientificrussia.ru/articles/cajnye-paketiki-rasskazali-o-mikrobnoj-aktivnosti-v-pocvah-evropejskoj-casti-rossii (дата обращения: 28.05.2026).

9. Чайные пакетики рассказали о скорости разложения почвенного органического вещества в России // N+1. URL: https://nplus1.ru/news/2024/05/15/teabags-for-soil-science (дата обращения: 28.05.2026).

BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE SOILS OF THE BASEGI RIDGE (MIDDLE URALS)

A. G. Goldobina, E. I. Maltseva, I. A. Samofalova, V. V. Durymanova
Perm State Agrarian-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov
Perm, samofalovairaida@mail.ru

The work is devoted to the assessment of the intensity of destruction of plant residues in different altitude zones using the standardized method of the Tea Bag Index (TBI). Significant differences in the rate of substrate mass loss in soils were found depending on the altitude. The analysis showed that the mass loss of green tea decreases with an increase in the content of Al^{3+} ions in the soil ($r = –0.65$) and an increase in ΔpH ($r = –0.71$). Therefore, it is the aluminum ions that contribute to the stabilization of organic matter in the studied mountain soils. The STBI stabilization factor, which values lie in the interval 0.42–0.47, demonstrates a tendency to decrease biological activity in soils in the transitional zone of the dwarf-tree-tundra at an altitude of more than 800 m.

УДК 631.48(571.5)

ХРОНОСТРУКТУРА ПЕДОГЕНЕЗА В ДОЛИНАХ ЛЕВОБЕРЕЖНЫХ ПРИТОКОВ Р. АНГАРЫ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ

В. А. Голубцов[1], М. Ю. Опекунова[1], А. А. Черкашина[1], А. А. Рыбченко[2]

[1]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, tea_88@inbox.ru
[2]Институт земной коры СО РАН, Иркутск

Одним из основных палеогеографических архивов, позволяющих оценить отклик флювиальных процессов на климатические изменения, выявить их роль в эволюции ландшафтов, являются поймы. Несмотря на значительную разработанность вопросов отклика речных систем на длительные и масштабные ландшафтно-климатические изменения в Предбайкалье, значительно меньше внимания уделяется вопросам ритмики гидрологических событий в позднеледниковье и голоцене, когда, как известно, происходило геоморфологическое оформление низких террасовых уровней и пойм [3].

Их формирование происходит под воздействием выраженных, в том числе и климатически обусловленных, колебаний водности рек разной амплитуды и временного масштаба, в условиях тесного взаимодействия процессов педо- и седиментогенеза [1]. Поэтому для комплексной оценки развития речных долин Предбайкалья, анализа хода флювиального рельефообразования в пространстве и времени перспективным представляется выявление хронологии этапов почвообразования на поймах и низких террасах левобережных притоков р. Ангара, как фаз замедления флювиальной активности в позднеледниковье и голоцене.

Исследования проводились в пределах бассейнов крупных левых притоков р. Ангары – рек Белой, Китой и Иркут (рис. 1). Анализ пространственного распределения пойменных генераций различной морфологии и низких террасовых уровней выполнен на основании данных полевого геоморфологического обследования и обработки синтезированных спутниковых изображений, цифровых моделей рельефа SRTM высокого разрешения. Для характеристики фациального строения, состава и возраста рыхлых отложений проведено исследование 40 разрезов, в том числе 10 в пределах низких пойм, 19 разрезов, вскрывающих строение высоких пойм и 11 разрезов, заложенных на I надпойменных террасах рек.

Наряду с морфогенетическими методами, анализ фациальной неоднородности отложений и педоседиментационных обстановок педогенеза проводился на основании массового определения содержания карбонатов, гранулометрического состава и Сорг (341, 407 и 182 образцов, соответственно). Оценка последовательности накопления аллювиальных отложений выполнена путем определения возраста погребенных почв радиоуглеродным методом со сцинтилляционным измерением активности ^{14}C в Санкт-Петербургском государственном университете. Полученные даты (119 шт.) скомбинированы в единый массив: индивидуальные плотности вероятности распределения (ПВР) суммированы, и полученная суммарная ПВР нормирована для приведения максимального значения к единице [4].

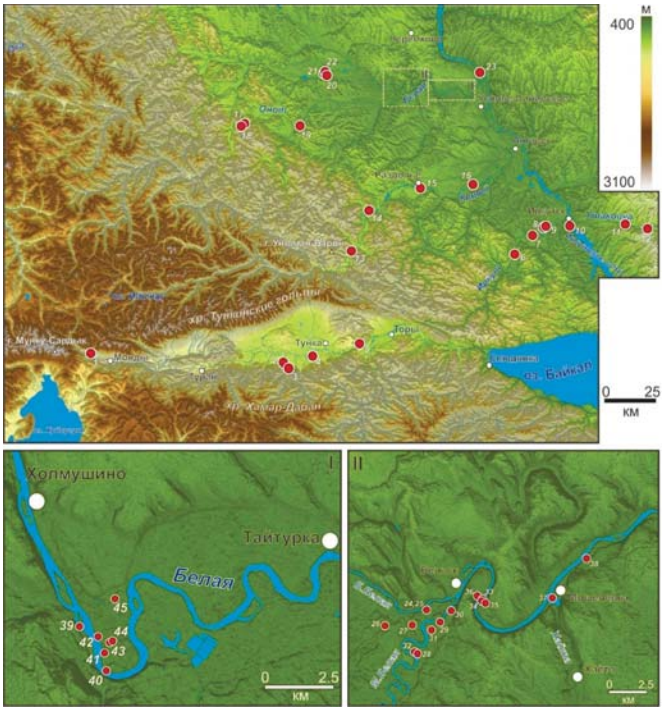


Рис. 1. Положение исследуемых разрезов в бассейнах рек Белая, Китой и Иркут. Наименования разрезов: 1 – 1-И; 2 – Харибяты-2; 3 – Харибяты-1; 4 – Бого-Горхон; 5 – Еловка; 6 – Иркут-2; 7 – ИБ-2; 8 – Иркут-1; 9 – Иркут-3; 10 – Конный; 11 – Ушаковка-920; 12 – Ушаковка-917; 13 – 4-К; 14 – 7-К; 15 – 12-К; 16 – Л-16; 17 – Онот-6; 18 – Онот-9; 19 – Юлинск-1; 20 – Б. Белая; 21 – ББ-4; 22 – ББ-5; 23 – Усть-Белая; 24 – ББ-6/1; 25 – ББ-6/2; 26 – ББ-8; 27 – ББ-10; 28 – МБ-4; 29 – МБ-1; 30 – МБ-2; 31 – МБ-3; 32 – МБ-6; 33 – Грива; 34 – Понижение; 35 – Н. Булай-1; 36 – Гривистый; 37 – Усть-Хайта; 38 – Горелый Лес; 39 – Могой-1; 40 – Б-1; 41 – Б-2; 42 – Б-19; 43 – Б-7; 44 – Б-4; 45 – Б-5

График суммарной плотности вероятности распределения (СПВР) свидетельствует о ритмичном развитии аллювиальных и педогенных фаз развития пойм региона. За последние 15 тыс. лет выделяется до 20 фаз стабилизации поверхностей пойм и сменяющих их этапов повышенной флювиальной активности, сопровождавшимися существенным снижением интенсивности педогенеза или отсутствием признаков педогенной проработки аллювиальных отложений. Анализ хронологии фаз стабилизации флювиальных процессов позволяет говорить о следующих временных рамках формирования разновозрастных поверхностей: I надпойменные террасы – 9,2–8,6; высокие поймы – 5,0–4,5; низкие поймы – 3,0–2,8 тыс. л. н.

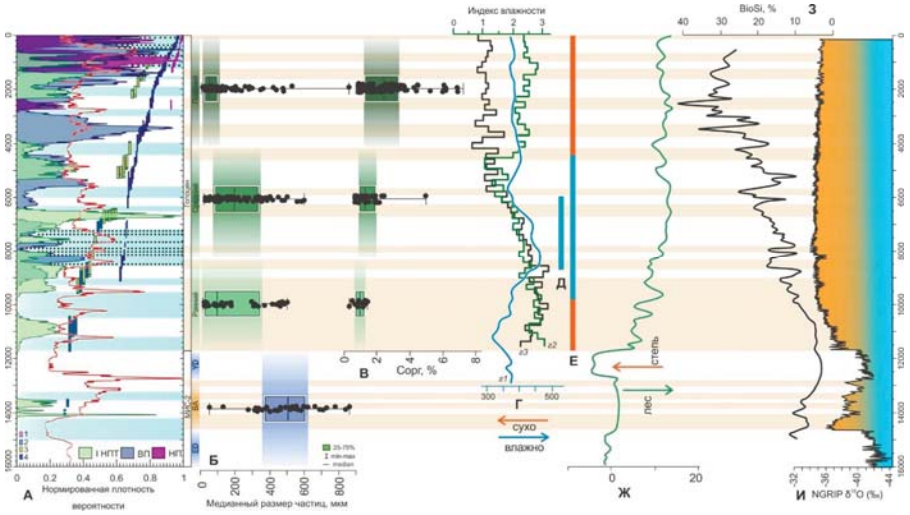


Рис. 2. Хроноструктура педогенеза в речных долинах Предбайкалья. А – суммарная плотность вероятности распределения радиоуглеродных дат для разновозрастных поверхностей (светло-зеленая – I надпойменные террасы (I НПТ); синяя – высокие поймы (ВП); фиолетовая – низкие поймы (НП)); красная линия – СПВР равномерного ряда дат; вертикальные прямоугольники – 95. 4 % доверительный интервал индивидуальных ^{14}C дат для: 1 – низких пойм; 2 – высоких пойм; 3 – органо-аккумулятивных почв I НПТ; 4 – аллювиальных почв I НПТ. Горизонтальные интервалы – смены эпох педогенеза (белые полосы) и высокой флювиальной активности (голубые полосы). Крап в пределах голубых полос – фазы активизации осадконакопления на поймах. Б – вариации гранулометрического состава отложений и содержания Corg в гумусовых горизонтах почв (В). Г – динамика увлажнения в Байкальском регионе (г1 [9]; г2 [10]) и на севере Монголии (г3 [10]). Д – фаза высокой водности р. Иркут, связанная с интенсивной деградацией горного оледенения [2]. Е – чередование влажные (голубые) и аридных (оранжевые) эпох по данным исследования донных осадков оз. Тере-Холь [5]. Ж – динамика степных и лесных сообществ в Байкальском регионе [6]. З – вариации содержания биогенного кремнезема в донных отложениях оз. Байкал [7]. И – изменения температур в Северном полушарии [8]. Горизонтальные светло-коричневые полосы – фазы повышения температур, выделенные по вариациям δ^{18}O шкалы NGRIP [8] и биогенного кремнезема в донных отложениях оз. Байкал [7]

Этапы педогенеза на поймах в позднеледниковье соотносятся с фазами потепления, фиксирующимися в Северном полушарии [8] (рис. 2, *и*) и находящими отражение в донных отложениях оз. Байкал [7] (рис. 2, *з*) и других озер региона [6] (рис. 2, *ж*). Для аллювия, аккумулировавшегося в это время, характерен высокий медианный размер частиц (рис. 2, *б*), выраженная и сохранная слоистая текстура, что может указывать на значительную живую силу водотоков. Основными причинами высокой водности в это время стоит рассматривать общий рост уровня атмосферного увлажнения в ходе позднеледниковых потеплений климата, деградацию многолетней мерзлоты и горного оледенения. Следы педогенеза в речных долинах исследуемой территории отсутствуют в позднем дриасе, что может трактоваться как свидетельство значительного похоло-

дания и сопутствовавшего ему снижению атмосферного и грунтового увлажнения, малому стоку рек.

Существенный рост увлажнения в раннем голоцене привело и к росту водности рек и повышению флювиальной активности в это время, что находит отражение в высокой длительности аллювиальных фаз развития пойм (рис. 2, *а*).

В среднем голоцене происходит существенное снижение продолжительности циклов педогенеза-осадконакопления на поймах, свидетельствующее о возросшей частоте паводков. При этом в первой половине раннего голоцена в этих циклах преобладают аллювиальные фазы, длительность фаз стабилизации пойм незначительна. Повышенная водность рек в это время подтверждается заметно возросшим медианным размером частиц аллювиальных толщ (рис. 2, *б*) и совпадает как с дальнейшим ростом атмосферного увлажнения [9], так и с ростом температур [6; 7] (рис. 2, *г, е–з*). Последний фактор мог оказать существенное влияние на снижение баланса массы ледников. Учитывая характер питания исследуемых рек, таяние ледников в термический оптимум голоцена должно было в существенной степени отразиться на увеличении водности, что фиксировалось ранее для р. Иркут [2] (рис. 2, *д*), вызвать значительный рост паводковой активности, что вполне согласуется с наблюдаемым соотношением аллювиальных и педогенных стадий развития пойм.

Рубеж среднего-позднего голоцена (около 5,4–3,0 тыс. л. н.) отмечен стабильным развитием пойм и наиболее длительными этапами педогенеза. Фазы педогенеза в это время демонстрируют неплохую сходимость с этапами потепления, нашедшими отражение в донных отложениях оз. Байкал [7] (рис. 2). Наблюдаемое явление совпадает со снижением медианного размера частиц аллювиальных отложений этого времени (рис. 2, *б*), что указывает на меньшую интенсивность паводков, а также с повышенной аккумуляцией органического углерода в почвах (рис. 2, *в*).

Фазы роста флювиальной активности и педогенеза в долинах исследуемых рек за последнее тысячелетие выглядят гораздо менее продолжительными, в то же время, растет их повторяемость.

Таким образом, выделенные фазы развития речных долин и их соотношения во времени имеют климатически-обусловленную природу, что подтверждается их соответствуют ландшафтно-климатическим изменениям, зафиксированным в течение 15 тыс. лет в исследуемом регионе. Это позволяет считать климатический фактор ведущим в формировании пойменно-русловых комплексов региона, а почвообразование рассматривать в качестве важной составной части формирования пойм в течение голоцена.

Литература

1. Александровский А. Л., Голосов В. Н., Замотаев И. В. Темпы седиментации на поймах равнинных рек центра европейской части России по данным изучения почвенно-аллювиальных серий // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54, № 1. С. 17–36.

2. К вопросу о позднеплейстоценовом оледенении юга Восточного Саяна и выделении конечных морен MIS 2 на основе бериллиевого датирования (^{10}Be) ледниковых комплексов / С. Г. Аржанников, Р. Броше, М. Жоливе, А. В. Аржанникова // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 11. С. 1917–1933.

3. Голубцов В. А., Опекунова М. Ю., Смирнов М. В. Хронология и условия формирования пойменных генераций нижнего течения р. Белой (Верхнее Приангарье) // Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55, № 4. С. 111–128.

4. Радиоуглеродная хронология этапов педогенеза на поймах рек Верхнего Приангарья (юг Восточной Сибири) / В. А. Голубцов, М. Ю. Опекунова, А. А. Черкашина, А. А. Рыбченко, М. В. Смирнов, И. А. Горбунова // Почвоведение. 2026. № 4. С. 647–668.

5. Покровский Б. Г., Панин А. В. Изменения климата, отраженные в изотопном составе углерода и кислорода голоценовых карбонатов озера Тере-Холь, Тыва (Южная Сибирь) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2025. № 3. Т. 33. С. 118–142.

6. Vegetation and fire history of the Lake Baikal Region since 32 ka BP reconstructed through microcharcoal and pollen analysis of lake sediment from Cis- and Trans-Baikal / A. Krikunova, F. Kobe, T. Long, C. Leipe, J. Gliwa, A. Shchetnikov, P. Olschewski, P. Hoelzmann, M. Wagner, E. Bezrukova, P. Tarasov // Quaternary Science Reviews. 2024. Vol. 340. 108867.

7. Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed / A. A. Prokopenko, G. K. Khursevich, E. V. Bezrukova, M. I. Kuzmin, X. Boes, D. F. Williams, S. A. Fedenya, N. V. Kulagina, P. P. Letunova, A. A. Abzaeva // Quaternary Research. 2007. Vol. 68. P. 2–17.

8. A 60000 year Greenland stratigraphic ice core chronology / A. Svensson, K. Andersen, M. Bigler, H. Clausen, D. Dahl-Jensen, S. Davies, S. Johnsen, R. Muscheler, F. Parrenin, S. Rasmussen, R. Röthlisberger, I. Seierstad, J. Steffensen, B. Vinther // Climate of the Past. 2008. Vol. 4. P. 47–57.

9. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records / P. Tarasov, E. Bezrukova, E. Karabanov, T. Nakagawa, M. Wagner, N. Kulagina, P. Letunova, A. Abzaeva, W. Granoszewski, F. Riedel // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 252. P. 440–457.

10. Wang W., Feng Z. Holocene moisture evolution across the Mongolian Plateau and its surrounding areas: A synthesis of climatic record // Earth-Science Reviews. 2013. Vol. 122. P. 38–57.

CHRONOSTRUCTURE OF LATE GLACIAL AND HOLOCENE PEDOGENESIS IN THE VALLEYS OF LEFT TRIBUTARIES OF ANGARA RIVER

V. A. Golubtsov,[1] M. Yu. Opekunova[1], A. A. Cherkashina[1], A. A. Rybchenko[2]
[1]*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, tea_88@inbox.ru*
[2]*Institute of Earth's Crust SB RAS, Irkutsk*

The paper presents an analysis of the chronostructure of soil formation stages based on statistical processing of an array of 119 radiocarbon dates obtained from the organic matter of humus horizons of *in situ* soils buried within different-aged generations of floodplains and low terrace levels of the left-bank tributaries of the Angara river. The stages of geomorphological formation of different surfaces have been established (I floodplain terraces – 9.2–8.6; high floodplains – 5.0–4.5; low floodplains – 3.0–2.8 kyr BP). The identified phases of river valley development and their relationships in time correspond to climatic changes recorded over 15,000 years in the region under study. This allows us to consider the climatic factor as the leading one in the formation of floodplain-channel complexes of the region, and to consider soil formation as the important component of the floodplain development.

УДК 631.445.12

ТОРФЯНЫЕ ПОЧВЫ, ИХ ГЕНЕЗИС И ПОДХОДЫ К ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

Л. И. Инишева, Е. В. Порохина

Томский государственный педагогический университет, Томск
inisheva@mail.ru

На земном шаре на болота приходится лишь 3,5 % его поверхности, однако в углеродном балансе их доля составляет около 15 % мировых запасов, и запасы углерода оцениваются в настоящее время в 234–252 млрд т [14]. Первое место по запасам торфа принадлежит России.

Земельный фонд России оценен в 1709,8 млн га, из них болотами занято 154 млн га, что составляет 9 % территории страны (здесь под термином болота подразумеваются минеральные заболоченные земли и торфяные болотные – вместе). Другие значения площади болот и заболоченных земель были получены С. Э. Вомперским и др. на основе использования Почвенной карты РСФСР, М 1:2 500 000 [10] и в эту площадь входили кроме земельного фонда площадь других заболоченных территорий. В результате этой работы было установлено, что в России имеется 139 млн га болот со слоем торфа более 0,3 м и 230 млн га – площадь заболоченных земель со слоем торфа до 0,3 м. Таким образом, вместе болотные и заболоченные земли составили 369,1 млн га, т. е. 21,6 % территории страны [2]. При такой высокой заболоченности территории РФ и биосферной значимости торфяных почв (рис. 1), они, безусловно, требуют к себе повышенного внимания.



Рис. 1. Функции болот в биосфере

Свойства торфяных почв кардинально отличаются от минеральных. Торфяные почвы на 50–95 % состоят из органических веществ и чрезвычайно переувлажнены. Так, в этих почвах своеобразно соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз. Твердая фаза, представленная, преимущественно, органическим веществом, занимает всего 8–25 % от общего объема почвы. На воздушную фазу приходится от 12 до 27 %. Основной объем торфяной почвы представлен жидкой фазой – 51–80 %. Особенности текстуры торфяных почв в связи с их органогенной природой обусловливают высокую динамичность их свойств и режимов во времени.

В 1937 г. Д. А. Герасимовым [3] было предложено разделить весь торфяной профиль на торфяную почву и торфогенную породу, которая является материнской породой для торфяной почвы. Наиболее широкое отражений этих взглядов нашло воплощение в работе И. Н. Скрынниковой [12]. Согласно ее определению, торфяная почва – это верхний слой торфа на глубину распространения основной массы корней растений, который периодически подвергается аэрации, и где совершаются процессы разложения растительного опада и образования высокомолекулярных органических веществ. Нижележащие слои торфа, по мнению И. Н. Скрынниковой нельзя назвать почвой, так как почвообразовательные процессы здесь не наблюдаются, а сам торф находится в законсервированном состоянии. Этот слой был определен как органогенная порода. Однако еще в 1886 г. В. В. Докучаев в классификации почв выделил класс типичных болотных почв с полным их профилем до минеральной породы. Такой же точки зрения, согласно В. Н. Ефимову [6], придерживались К. Д. Глинка, В. Р. Вильямс, Д. Г. Виленский, С. П. Кравков и др.

Рассмотрим, как формируется профиль торфяной почвы в условиях избыточной влажности. Источником минерального питания для процесса торфообразования служит минеральный субстрат (минеральная почва), подвергшаяся заболачиванию. На поверхности первоначально поселяется растительность эвтрофного типа, которая опадая осенью и перегнивая, постепенно формирует торфяной слой. Вслед за нарастающим вверх торфяным профилем происходит миграция подвижных макро и микроэлементов. Основное количество зольных элементов в торфах накапливается на исходном этапе торфообразования. Из этого слоя, насыщенного элементами питания, корневая система следующего слоя растений-торфообразователей их использует. Происходит перераспределение элементов по профилю вверх растущих торфяных почв с постепенным снижением их концентрации ближе к поверхности, вследствие постепенного отрыва от грунтовых вод, и переходу к водному питанию за счет атмосферных осадков. Так формируется торфяной профиль сначала эвтрофного, затем мезотрофного и олиготрофного типа торфообразования. Ранее этот процесс назван биогенной формой миграции элементов и описан В. К. Бахновым [1].

Таким образом, древняя почва, подвергшаяся заболачиванию, выполняет роль почвообразующей породы по отношению к формирующейся на ней торфяной почве и в дальнейшем между ними сохраняется тесная генетическая связь (рис. 2).



Рис. 2. Биогенная миграция соединений в торфяном профиле

Одновременно происходит миграционный сток к почвообразующим породам, но в торфяных почвах он выражен слабо в силу большой водоудерживающей способности и слабой фильтрации торфяных почв. Однако болотный рельеф очень неоднородный, в результате происходит внутриболотный переток гравитационных вод [7].

Верхнюю часть торфяного профиля (более аэробную) можно считать как часть почвенного профиля современной стадии почвообразования с более активными биохимическими процессами. Но и нижележащие горизонты также биохимически активны [4; 5]. Так констатируется [11], что с глубиной в одних и тех же видах торфов снижается содержание водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, а содержание гуминовых кислот увеличивается. Здесь на первый план выходят чисто химические процессы превращения органических веществ (дегидратация и декарбоксилирование), приводящие к полимеризации, упрочнению молекул сложных полимеров, скорость которых много ниже, а результат – менее выражен. Эта стадия носит название диагенеза.

Таким образом, в понятие торфяная почва должен включаться весь торфяной профиль и верхние горизонты древней минеральной почвы. Органическая и минеральная части торфяных почв – субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный (торфяной) профиль с фиксированной в нем историей их развития.

И другая особенность торфяных почв – они органогенные, состоят из растительных остатков и, соответственно, подходить к их исследованию и классификации важно с ботанических позиций. Под ботаническим составом торфа подразумевается совокупное сочетание всех ископаемых растительных остатков, на основе которого можно установить исходный фитоценоз и выяснить его генезис. Характерные признаки видов торфа хорошо описаны и идентифицируются при определении ботанического состава, и этот процесс может быть компьютеризирован [13]. Для трансформации остатков болотных растений характерно быстрое затухание во времени и отсутствие достаточных количеств минеральной составляющей [8], которая активно участвует в образовании гу-

муса минеральных почв, связывая органическое вещество (ОВ) в органо-минеральные комплексы. В торфяных почвах этого не происходит, что приводит к существенным различиям химического состава ОВ минеральных почв и ОВ торфа. За счет прекращения превращений ОВ растений на более ранней стадии, состав ОВ торфяных почв в большей степени, чем состав ОВ минеральных почв, зависит от исходного химического состава растений, из которых оно образовалось. Растения болотных местообитаний различаются как по жизненной форме (деревья, травы, кустарники, мхи), так и по трофности среды, в которой они обитают (олиготрофы, мезотрофы, эвтрофы). Соответственно формируются фитоценозы, отлагающие верховые, переходные или низинные торфа древесной, травяной или моховой групп. Особенности химического состава растений-торфообразователей определяют результат процесса трансформации ОВ в торфяной почве, который в первую очередь выражается степенью разложения торфа – показателем уровня деструкции исходных растительных остатков. Степень разложения торфа показывает отношение, бесструктурной части (гумуса) к общему количеству торфа и изменяется от 5 до 70 % [9]. Сохранившие структуру ткани растений, соответственно, составляют 30–95 %.

Выводы

1. В понятие торфяная почва должен включаться весь торфяной профиль и верхние горизонты древней минеральной почвы. Органическая и минеральная части торфяных почв – субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный (торфяной) профиль с фиксированной в нем историей их развития.

2. Торфяные почвы состоят из высокомолекулярных продуктов разложения и растительных остатков высокополимеров целлюлозной природы. Подходить к их исследованию и классификации предлагается с ботанических позиций, используя ботанические ключи отнесения торфяных почв к номенклатурным единицам.

Литература

1. Бахнов В. К. Почвообразование (взгляд в прошлое и настоящее). Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 2000. 114 с.

2. Вомперский С. Э., Иванов А. И., Цыганова О. П. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.

3. Герасимов Д. А. О принципах классификации, разведки и картирования торфяных месторождений // Почвоведение. 1937. № 10. С. 643–646.

4. Биологическая активность эутрофных торфяных почв поймы реки Порос (Томская область) / А. В. Головченко, С. А. Антоненко, Н. В. Костина, А. В. Якушев, А. Л. Степанов, Л. И. Инишева // Почвоведение / Eurasian Soil Science. 2026. № 4. С. 748–767. https://doi.org/10.7868/S3034561826040078

5. Микробная активность торфяных почв заболоченных лиственничников и болота в криолитозоне Центральной Эвенкии / И. Д. Гродницкая, Л. В. Карпенко, А. А. Кнорре, С. Н. Сырцов // Почвоведение. 2013. № 1. С. 67–79.

6. Ефимов В. Н. Торфяные почвы и их плодородие. Л. : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 264 с.

7. Распределение органических веществ в системе геохимически сопряженных болотных ландшафтов / Л. И. Инишева, Н. В. Юдина, Н. Г. Инишев, А. В. Головченко // Геохимия. 2005. № 2. С. 1–9.

8. Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л. : Гидрометеоиздат, 1988. 248 с.

9. Лиштван И. И., Король Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск : Наука и техника, 1975. –320 с.

10. Почвенная карта РСФСР. М. : 1:2500000 / под ред. Фридланда В. М. М. : ГУГК СССР, 1988. 16 л.

11. Раковский В. Е., Пигулевская Л. В. Химия и генезис торфа. М. : Недра, 1978. 231 с.

12. Скрынникова И. Н. К вопросу об истории исследования, принципы классификации и систематики болотных почв СССР // Почвоведение. 1954. № 4. С. 37–50.

13. Справочник по торфу. М. : Недра, 1982. 760 с.

14. Lappalainen Eino. General review on world peatland and peat resources // Globel peat resources. Finland, 1996. 100 p.

PEAT SOILS, THEIR GENESIS AND APPROACHES TO THEIR CLASSIFICATION

L. I. Inisheva, E. V. Porokhina
Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, inisheva@mail.ru

Peat soils, due to the high waterlogging of the territory of the Russian Federation and the great biospheric importance, certainly require increased attention. The features of the texture of peat soils in connection with their organogenic nature determine the high dynamism of their properties and regimes over time. The term “peat soil” should include the entire peat profile and the upper horizons of the ancient mineral soil. It is important to approach the study of peat soils and their classification from a botanical perspective, using the botanical keys of assigning peat soils to nomenclatural units.

УДК 631.484

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЧИСЛЕННОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОФИЛЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ООПТ «КАЛУЖСКИЙ БОР»

А. В. Козлов[1], К. А. Брохова[2], И. С. Дятлов[1], С. А. Ефимова[2], Н. Л. Каменных[2]

[1]Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН Москва, kozlov.av@geokhi.ru
[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, nl-povetkina@mail.ru

Определение численности различных сторон микробиоценоза – значимый этап описания микробиологической характеристики почвы, по которому можно судить о направленности преобразования и высвобождения в почвенный раствор биогенного вещества [3; 5].

Гетеротрофные микроорганизмы – функциональное ядро микробиогеоценоза, выполняют трансформационную и санитарную функции. Учет аммонификаторов важен для оценки состояния плодородия почв поскольку образующийся ими аммиак и промежуточные продукты распада белков усваиваются растениями как источник азота. В дальнейшем соединения азота перерабатываются нитрификаторами. Интенсивность нитрификации характеризует биологическую активность почвы как общую напряженность ее микробиологических процессов. Явление иммобилизации азота важно для оценки доступности азота растениям, поэтому учитывают численность микробиоты, усваивающей минеральные формы азота. Разложение безазотистых органических веществ амилолитиками и целлюлолитиками приводит к пополнению доступными биогенными элементами. Разложение целлюлозы играет важную роль в круговороте углерода, в образовании гумусовых веществ и при формировании почвенной структуры [4; 5]. Учет численности несимбиотических азотфиксаторов помогает определить способность к фиксации азота, проследить за активностью разложения гумусовых соединений. По изучению динамики численности грибов и актиномицетов судят о ходе минерализационных процессов на пути к синтезу гумусовых веществ; о деструкции вещества и состоянии экосистемы в целом.

В качестве объектов исследования были выбраны два участка Калужского бора: в верхней части полого холма с преобладанием луговой растительности – разрез 5; в средней части полого холма со смешанным лесом 6С4Б – разрез 12 [1; 2]. Почвенные образцы транспортировались в лабораторию кафедры микробиологии и иммунологии в тканевых мешках и хранились при температуре +5°С до посева. Для оценки общей численности аммонифицирующих бактерий применяли мясо-пептонный агар (МПА), для гетеротрофных микроорганизмов использовали ГПДА, для культивирования актиномицетов – среду Ваксмана, грибов – среду Чапека, для амилолитических бактерий – крахмалоаммиачный агар (КАА), аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов – агаризован-

ную среду Гетчинсона (АГК), для свободноживущих азотфиксаторов – среду Эшби, для нитрификаторов I ступени – среду Виноградского [4].

Культивирование микроорганизмов проводили в термостате при температуре +28 °С. Учет на средах МПА, ГПДА проводили на 3 сутки, на средах Вакcмана, Чапека, КАА, АГК, Эшби на 7 сутки выдерживания в термостате [4]. Для оценки численности использовалась ориентировочная шкала степени обогащенности почвы микроорганизмами (Звягинцев Д. Г., 1980). Статистическую обработку полученных данных проводили в MS Office Excel.

В ходе исследований были установлены численности ассоциатов разных функциональных групп (табл.). Можно отметить отчетливое изменение численности микроорганизмов в зависимости от исследуемого образца почвы.

Таблица

Численность и общая вариабельность микроорганизмов органогенных горизонтов почв Калужского бора

Горизонт	Количество микроорганизмов КОЕ/г почвы Коэффициент вариации признака, (V %)							
	МПА	ГПДА	Вакcмана	Чапека	КАА	АГК	Эшби	Виногр.
Дерново-подзолистая остаточно-карбонатная грунтовоглееватая глубокодерновая глубокоподзолистая супесчанная на карбонатном моренном тяжелом суглинке (разрез 5)								
A_0	$3{,}48\cdot10^6$	$3{,}76\cdot10^6$	$1{,}07\cdot10^6$	$0{,}76\cdot10^5$	$5{,}06\cdot10^6$	$4{,}70\cdot10^5$	$33{,}9\cdot10^5$	$5{,}5\cdot10^1$
	26	75	35	40	37	26	28	–
A_1	$6{,}66\cdot10^6$	$7{,}14\cdot10^6$	$2{,}13\cdot10^6$	$0{,}24\cdot10^5$	$6{,}26\cdot10^6$	$1{,}47\cdot10^6$	$23{,}0\cdot10^5$	$9{,}5\cdot10^1$
	39	29	36	99	11	39	26	–
A_1A_2	$0{,}04\cdot10^6$	$0{,}43\cdot10^6$	$2{,}96\cdot10^6$	$0{,}29\cdot10^5$	$4{,}62\cdot10^6$	2,81*10^ 5	$3{,}35\cdot10^5$	$0{,}13\cdot10^4$
	11	29	39	30	6	19	28	–
Дерново-подзолистая среднедерновая глубокоподзолистая песчаная на моренном среднем суглинке (разрез 12)								
A_0	$1{,}42\cdot10^6$	$5{,}34\cdot10^6$	$1{,}46\cdot10^6$	$8{,}02\cdot10^5$	$1{,}22\cdot10^5$	$6{,}40\cdot10^5$	$32{,}0\cdot10^5$	$0{,}04\cdot10^4$
	47	29	24	23	33	44	59	–
A_1	$3{,}90\cdot10^6$	$2{,}74\cdot10^6$	$0{,}71\cdot10^6$	$15{,}1\cdot10^5$	$5{,}16\cdot10^5$	$3{,}38\cdot10^5$	$46{,}7\cdot10^5$	$2{,}00\cdot10^4$
	50	50	39	92	110	23	119	–
A_1A_2	$3{,}13\cdot10^6$	$2{,}34\cdot10^6$	$0{,}67\cdot10^6$	$2{,}16\cdot10^5$	$8{,}40\cdot10^5$	$4{,}46\cdot10^5$	$52{,}3\cdot10^5$	$1{,}30\cdot10^4$
	77	77	44	82	29	17	73	–

Дерново-подзолистая остаточно-карбонатная грунтовоглееватая глубокодерновая глубокоподзолистая супесчанная на карбонатном моренном тяжелом суглинке – разрез 5.

В горизонте A_0 (0–9 см), согласно шкале Звягинцева (1980), почва средне обогащена амилолитическими, ($5{,}06\cdot10^6$ КОЕ/г субстрата), гетеротрофными, ($3{,}76\cdot10^6$) и аммонифицирующими ($3{,}48\cdot10^6$) микроорганизмами. Бедна диазотрофами ($33{,}92\cdot10^5$), очень бедна актиномицетами, целлюлозолитиками, грибами и нитрификаторами.

Горизонт A_1 (9–22 см) богат гетеротрофами (КОЕ $7{,}14 \cdot 10^6$), аммонификаторами ($6{,}66 \cdot 10^6$). Средне обогащен амилолитиками ($6{,}256 \cdot 10^6$), бедна диазотрофами ($23{,}04 \cdot 10^5$), актиномицетами. Очень беден целлюлозолитиками, грибами, нитрификаторами ($2{,}126 \cdot 10^6$).

Горизонт A_1A_2 (22–34 см) беден амилолитиками ($4{,}624 \cdot 10^6$), актиномицетами ($2{,}958 \cdot 10^6$), очень беден гетеротрофными, аммонифицирующими микроорганизмами ($0{,}04 \cdot 10^6$), диазотрофами и целлюлозолитиками. Мало грибов и нитрификаторов.

Численность актиномицетов и нитрификаторов линейно увеличивается при переходе к нижним горизонтам, у диазотрофов при переходе к верхним. Колебания численности гетеротрофов, аммонификаторов, амилолитиков и целлюлозолитиков схожи – увеличение численности в A_1 и снижение к A_1A_2. У грибов к горизонту A_1 численность уменьшается, после снова увеличивается.

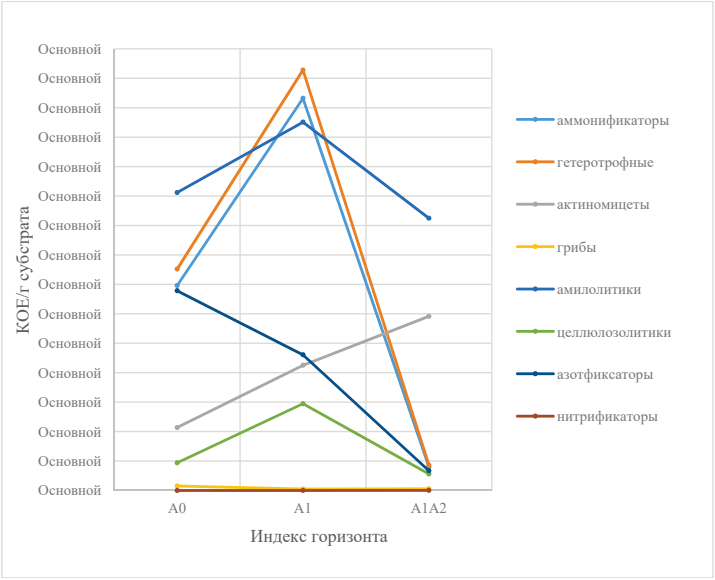


Рис. 1. Динамика численности микроорганизмов в органогенных горизонтах дерново-подзолистой остаточно-карбонатной почвы (разрез 5)

Дерново-подзолистая среднедерновая глубокоподзолистая песчанная на моренном среднем суглинке – разрез 12.

В горизонте A_0 (0–3 см) почва средне обогащена гетеротрофами, КОЕ/г субстрата ($5{,}34 \cdot 10^6$), бедна азотфиксаторами ($32{,}00 \cdot 10^5$) и аммонификаторами ($1{,}4 \cdot 10^6$). Очень бедна почва актиномицетами, грибами, целлюлозолитиками и амилолитиками. Нитрификаторы – самая малочисленная группа.

В горизонте A_1 (3–13 см) почва средне обогащена аммонификаторами ($3{,}9 \cdot 10^6$), бедна диазотрофами ($46{,}67 \cdot 10^5$) и гетеротрофами ($2{,}74 \cdot 10^6$). Почва очень

бедна грибами, актиномицетами, амилолитиками и целлюлозолитиками. Нитрификаторы – самая редко встречающаяся группа.

В горизонте A_1A_2 (13–33 см) средняя обогащенность диазотрофами ($5{,}2 \cdot 10^6$), аммонификаторами. Почва бедна гетеротрофами ($2{,}34 \cdot 10^6$), очень бедна амилолитиками, актиномицетами, целлюлозолитиками, нитрификаторами.

У гетеротрофов и актиномицетов наблюдается снижение численности при переходе от верхних горизонтов к нижним. Обратная тенденция – у амилолитиков и диазотрофов (нитрификаторов).

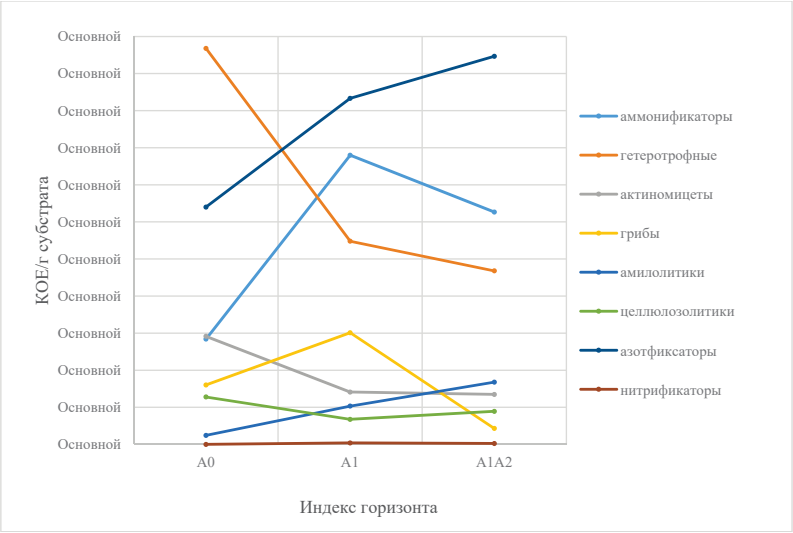


Рис. 2. Динамика численности микроорганизмов в органогенных горизонтах дерново-подзолистой почвы (разрез 12)

В результате проведенных исследований было установлено, что пул колониеобразующих единиц чаще всего остается на уровне бедных почв. Наибольший пул жизнеспособных бактерий – в дерново-подзолистой остаточно-карбонатной почве (разрез 5). Наибольшая численность микроорганизмов в гумусовом горизонте, максимально оценивается по отдельным группам микроорганизмов как средне обогащенный (разрез 12) и богатый (разрез 5). Наименее обогащенный переходный гумусово-оподзоленный горизонт.

Повсеместно распространены микроорганизмы зимогенной группы, олиготрофы встречаются реже, что может свидетельствовать о большом количестве свежего органического вещества. Наиболее часто встречаются группировки гетеротрофных и аммонифицирующих микроорганизмов. В дерново-подзолистой остаточно-карбонатной почве (разрез 5) также преобладают амилолитические; в дерново-подзолистой типичной почве (разрез 12) – азотфиксирующие микроорганизмы.

Довольно редко встречаются целлюлозолитики, грибы, практически не встречаются нитрификаторы. Преобладание бактерий, а не грибов может быть связано с характером лесной подстилки (преимущественно травянистая). Отсутствуют выраженные закономерности распределения микроорганизмов по горизонтам, что может быть связано с особенностями каждой почвы (совокупностью факторов: влажность, гранулометрический состав, степень аэрированности, содержание органического вещества и т. д.)

Работа выполнена в рамках госзадания Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Литература

1. Апальков В. А., Ефимова С. А., Каменных Н. Л. Морфогенетическая оценка почв катены калужского бора // Сборник трудов Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием «X Вильямсовские чтения». М. : РГАУ-МСХА, 2025. С. 185–188.

2. Ефимова С. А., Каменных Н. Л. Влияние характера растительности на содержание гумуса и кислотность почв Калужского бора // Сборник трудов Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием «X Вильямсовские чтения». М. : РГАУ-МСХА, 2025. С. 393–398.

3. Особенности изменения численности сапротрофных микроорганизмов в органогенных горизонтах подзолистой остаточно карбонатной грунтово-глееватой почвы Калужского бора / А. В. Козлов, С. А. Ефимова, К. А. Брохова, И. С. Дятлов, Н. Л. Каменных // Устойчивое управление почвенными ресурсами в условиях изменения климата : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Казахского науч.-исслед. ин-та почвоведения и агрохимии имени У. У. Успанова. Алматы, 2025. С. 213–218.

4. Козлов А. В. Методы почвенной микробиологии и энзимологии в экосистемных исследованиях. М. : Плодородие, 2023. 152 с.

5. Нарушева Е. А. Биологические и биохимические основы плодородия почв. Саратов : Саратов. ГАУ, 2014. 79 с.

VERTICAL VARIABILITY PHYSIOLOGICAL GROUPS OF MICROORGANISMS IN THE PROFILE OF SOD-PODZOLIC SOILS OF THE KALUGA BOR PROTECTED AREA

A. V. Kozlov[1], K. A. Brokhova[2], I. S. Dyatlo[1], S. A. Efimova[2], N. L. Kamennykh[2]
[1]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, kozlov.av@geokhi.ru
[2]Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, nl-povetkina@mail.ru

The article presents the results of a quantitative study of associations of various functional groups microorganisms in sod-podzolic soils of Kaluga Bor. The number of microorganisms in organogenic horizons was evaluated on the Zvyagintsev scale (1980). The study showed that organogenic horizons of studied sod-podzolic soils are dominated by ammonificators ($0.04 \cdot 10^6$–$6.66 \cdot 10^6$ CFU/g), oligotrophs ($3.35 \cdot 10^5$–$52.3 \cdot 10^5$ CFU/g) and heterotrophs ($0.43 \cdot 10^6$–$7.14 \cdot 10^6$ CFU/g) – section 12 and 5, as well as ammylolytic ($4.62 \cdot 10^6$–$6.26 \cdot 10^6$ CFU/g) moms and actinomycetes ($1.07 \cdot 10^6$–$2.96 \cdot 10^6$ CFU/g) – section 5, while the relative abundance of cellulosolytics ($2.81 \cdot 10^5$–$1.47 \cdot 10^6$ CFU/g), nitrifiers ($5.5 \cdot 10^1$–$2.00 \cdot 10^4$ CFU/g) and microscopic fungi ($0.24 \cdot 10^5$–$15.1 \cdot 10^5$ CFU/g) is extremely small, which is due to the low cellulosolytic and sufficiently high proteolytic and nitrogen-fixing activity of studied sod-podzolic soils.

УДК 504.53:631.461

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ КОЛИЧЕСТВА ОЛИГОТРОФНЫХ И НИТРИФИЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ СРЕДНЕГО КАРБОНА ПРИ ИХ ВЫВЕТРИВАНИИ И В НАЧАЛЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

А. В. Козлов[1], И. С. Дятлов[1], Е. А. Канаева[2], В. М. Кустова [2]

[1]Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН Москва, kozlov.av@geokhi.ru
[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева», Москва, Eka.Kanaeva@gmail.com

Одним из актуальных и слабоизученных направлений в микробиологии на данный момент является влияние микроорганизмов в трансформации минерального вещества различных скальных обнажений известняков на разных стадиях их выветривания (экзогенного разрушения) и участии микроорганизмов в процессах формирования почв и почвоподобных тел на исходном известняковом субстрате. Понимание процессов формирования почв на карбонатных субстратах очень важно в силу их высокого уровня плодородия. В работе Я. А. Дмитракова и др. [3] по процессам сукцессии, протекаемых в отвалах рекультивируемого карьера установлено, что состав и численность групп микроорганизмов зависит от эволюционной стадии почвообразования. Так, на ранних этапах почвообразования в отвалах большинства карьеров преобладают копиотрофные микроорганизмы, а на более поздних – олиготрофные [6].

В работе стоит задача изучить динамику относительной численности олиготрофных и нитрифицирующих микроорганизмов на разных этапах выветривания (экзогенного разрушения) на скальных обнажениях известняков в Домодедовском ГО Московской области.

Скальные выходы известняков на одном из обнажений у реки Рожайка в Домодедовском городском округе Московской области имеют южную экспозицию склонов на безлесном склоне. Более полное описание обнажений приведено в прошлых статьях [4; 5].

Отбор образцов разной степени разрушения (выветривания) производился в летний период 2025 г. в соответствии с такими российскими стандартами, как ГОСТ 58325-2018 и ГОСТ 25100-2020 [1; 2].

Оценка относительной численности олиготрофных микроорганизмов производился на агаре Эшби на 7-й день культивации при +28 ºС. Состав агара Эшби, г/л: agar-agar 20,00; glucose – 20,00; $CaCO_3$ – 5,00; K_2HPO_4 – 0,20; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,20; NaCl – 0,20.

Оценка относительной численности нитрифицирующих микроорганизмов определялась на среде Виноградского на 14 день культивации с реактивом Грисса по таблице Мак-Креди. Состав среды Виноградского г/л: glucose – 10,0; lecithin – 2,50; $CaCO_3$ – 5,00; $(NH_4)_2SO_4$ – 0,60; KCl – 0,30; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,30; $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ – 0,01; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,01.

Посев на Агар Эшби производился по методу Коха с разведениями почвенной суспензии по Пастеру, высев производился на 5 чашек для каждого разведения. Для слабой и средней степени выветривания (разрушения) использовались следующие разведения – 10^{-1}; 10^{-2}; 10^{-3}, а для сильной степени – 10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-6}. После чего производилась инкубация в термостате при +28 ºС в течение 7 дней [6].

Посев на жидкую среду Виноградского производилась методам предельных разведений из разведений в диапазоне 10^{-1}–10^{-6} [1]. Культивация производилась в течение 14 дней в термостате при температуре +28 ºС.

Данные таблицы 1 отражают уровень относительной численности олиготрофных и нитрифицирующих микроорганизмов в образцах разной степени выветривания (разрушения) известняка на обнажении у р. Рожайка. Было установлено, что относительная численность как олиготрофов, как и нитрификаторов кратно возрастает от слабой степени к средней и к сильной.

Таблица

Относительная численность олиготрофных и нитрифицирующих микроорганизмов в элювии разной степени его выветривания в скальном обнажении на р. Рожайка Домодедовского ГО (Московская область)

Степень выветривания (разрушения)	Численность живых клеток, КОЕ/1 г грунта	
	Олиготрофные прокариоты	Нитрифицирующие прокариоты
Слабая	$5{,}45 \cdot 10^2$	0
Средняя	$1{,}07 \cdot 10^3$	$0{,}067 \cdot 10^3$
Сильная	$2{,}07 \cdot 10^3$	$1{,}86 \cdot 10^3$

Слабая степень выветривания характеризуется очень низким содержанием культивируемых олиготрофов-азотфиксаторов ($5{,}45 \cdot 10^2$ КОЕ/г) и отсутствием культивируемых форм нитрифицирующих микроорганизмов. Это связано с тем, что на поверхности породы, где идет начальная стадия выветривания очень малое содержание органических веществ, в том числе и соединений азота. Кроме того, исследуемые скальные обнажения на р. Рожайка имеют южную экспозицию поверхностей, что ограничивает количество влаги доступной для микроорганизмов в засушливые периоды в мае-сентябре.

В средней степени выветривания идет увеличение относительной численности олиготрофов-азотфиксаторов на порядок $1{,}07 \cdot 10^3$ КОЕ/г и появляются нитрификаторы $0{,}067 \cdot 10^3$ КОЕ/г. Увеличение численности олиготрофов-азотфиксаторов и появление нитрификаторов связано с увеличением степени выветривания и количества и разнообразия органических веществ.

Наивысшая относительная численность олиготрофов-азотфиксаторов и нитрифицирующих микроорганизмов зафиксирована в сильной степени выветривания на уровне в $2{,}07 \cdot 10^3$ КОЕ и $1{,}86 \cdot 10^3$ КОЕ соответственно. Данное явление обусловливается наивысшей доступностью влаги и разнообразных питательных веществ при максимальной биохимической деградации вещества породы и начале ее превращения в почвоподобное тело.

Проведенные исследования относительной численности олиготрофных, нитрифицирующих и сапротрофных [3] микроорганизмов показали, что при

разных степенях выветривания (разрушения) карбонатных пород идет кратное возрастание числа живых клеток населяемых их микроорганизмов от слабой к средней и к сильной степени материала. Повышение количества культивируемых микроорганизмов с увеличением степени выветривания (разрушения) породы свидетельствует об улучшении условий обитания, а также о возрастании доступности вещества из минерального субстрата и в целом об усилении микробиологической активности в формирующихся органо-минеральных биопленках. От улучшения среды обитания к возрастанию количества и разнообразия органических веществ как пищевого субстрата свидетельствует не только о стимулировании микробных олиготрофов, сапротрофов и нитрификаторов, но также и о ранней стадии почвообразования [3; 6] при сильной степени выветривания (разрушения) минеральной матрицы карбонатной породы.

Работа выполнена в рамках госзадания Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Литература

1. ГОСТ 58325-2018. Грунты. Полевое описание. М. : Стандартинформ, 2019. 31 с.
2. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. М. : Стандартинформ, 2020. 41 с.
3. Динамика растительного сообщества и микробиома хроноserий посттехногенных почв в известняковом карьере в условиях рекультивации / Я. А. Дмитракова, Е. В. Абакумов, Е. В. Першина, Е. А. Иванова, Е. Е. Андронов // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53, № 3. С. 557–569.
4. Дятлов И. С., Козлов А. В. Микробные ассоциации коры выветривания на скальных выходах известняка // Сборник статей Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 160-летию Тимирязевской академии. М. : РГАУ-МСХА, 2025. С. 442–445.
5. Вариабельность количества сапротрофных микроорганизмов из карбонатных обнажениях долины реки Рожайка (Домодедовский ГО Московской области) в зависимости от степени разрушения / А. В. Козлов, И. С. Дятлов, Е. А. Канаева, В. М. Кустова, А. Кавкаева // Устойчивое управление почвенными ресурсами в условиях изменения климата : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Казахского науч.-исслед. ин-та почвоведения и агрохимии имени У. У. Успанова. Алматы, 2025. С. 207–212.
6. Козлов А. В. Методы почвенной микробиологии и энзимологии в экосистемных исследованиях. М. : Плодородие, 2023. 152 с.

VARIABILITY OF OLIGOTROPHIC AND NITRIFYING BACTERIA IN MIDDLE CARBONIFEROUS CARBONATE ROCKS DURING THEIR WEATHERING AND AT BEGINNING OF SOIL FORMATION

A. V. Kozlov[1], I. S. Dyatlov[1], E. A. Kanaeva[2], V. M. Kustov [2]
[1]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS
Moscow, kozlov.v@geokhi.ru
[2]Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Eka.Kanaeva@gmail.com

The article presents an analysis of relative abundance of oligotrophic and nitrifying microorganisms in carbonate eluvium of varying degrees of weathering (initial stage of soil formation) from limestone rock outcrop taken in urban district of Domodedovo near Moscow. In course of study, it was proved that the relative abundance of oligotrophic, nitrifying and saprotrophic microorganisms developing in the weathering zone of carbonate rock increases as its degree of weathering (destruction) increases from weak to medium to strong. Thus, relative abundance (CFU/g) of oligotrophic nitrifying and saprotrophic microorganisms is $5.45 \cdot 10^2$ and 0; $1.07 \cdot 10^3$ and $0.067 \cdot 10^3$; $2.07 \cdot 10^3$ and $1.86 \cdot 10^3$ in a weak medium and strong degree of weathering (destruction), respectively. This increase in abundance indicates an increase in qualitative and quantitative diversity of organic substances in weathering zone of hypergenesis, stimulation of microbiota and initial stages of soil formation.

УДК 631.445.5

ОТРАЖЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА СПУСТЯ 80 ЛЕТ АНТРОПОГЕННОГО ОСВОЕНИЯ В СИСТЕМАХ РОССИЙСКИХ КЛАССИФИКАЦИЙ И WRB (НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ ДЖЕЗКАЗГАНСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА)

Е. И. Кравченко[1,2], Д. Л. Голованов[1], А. И. Аманжолов[3], С. А. Кушербаев[3]

[1]Московский государственный университет им. В. В. Ломоносова, Москва
krav4enko_elena@mail.ru, dm_golovanov@mail.ru
[2]Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва
[3]Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова
Караганда, Казахстан
aidyn_1988kz@mail.ru, kusherbaev_sultan@mail.ru

Комплексность почвенного покрова аридных территорий требует учета всего разнообразия свойств почв в классификации, ее развития и совершенствования. Для почв пустынных регионов часто характерны засоленность, наличие гипса в профиле, карбонатность.

Почвы в окрестностях крупных металлургических предприятий могут отличаться высокими содержаниями тяжелых металлов, превышающих ПДК [4; 8], что учитывается в современных почвенных классификациях [1; 6], однако требует инструментальных возможностей их реализации.

Объектом исследования стали почвы Джезказганского ботанического сада, расположенного в 5 км к югу от г. Джезказган, на правом берегу р. Кара-Кенгир.

Дискуссионность классификационной принадлежности почв ботанического сада отмечалась исследователями со времени его основания в 1938 г. Изначально их выделяли как темные сероземы, однако У. У. Успанов с коллегами настояли на анализе всех факторов почвообразования, и в итоге охарактеризовали почвы как бурые [3]. Затем в результате обновления классификации, в период составления почвенной карты Джезказганского ботанического сада бурые почвы были охарактеризованы как «северные сероземы» [2], однако Я. Ф. Дубовик [5] приводит и «старое» название – бурые почвы. На карте Джезказганского ботанического сада, переданной медеплавильному заводу, он выделяет 6 почвенных разностей. К настоящему моменту доступ к карте утерян [9].

Классификация почв нами проводилась по Классификации и диагностике почв России 2004 г. [6], Классификации почв СССР 1977 г. и WRB [1].

Согласно Классификации 1977 г. почвы относятся соответственно к бурым полупустынным гипсоносным, бурым орошаемым и серо-бурым высокогипсоносным. Основное отличие – в гипсоносности, т. е. в глубине залегания, морфологии и содержании гипса, что отражено в видовой характеристике почв. Также некоторые почвы отличаются состоянием засоленности, т. е. глубиной залегания и степенью засоления. По классификации 1977 г. у нас, как и у предшественников [5] получается 6 почвенных разностей, если выделять орошаемые почвы «поверх» других разностей. По Классификации и диагностике почв

России [6] у нас получилось 9 почвенных разностей (рис. 1), отчасти из-за большей дробности контуров на уровне подтипов в классификации, по которой составлялась почвенная карта [6].

Центральную часть ботсада занимает широкая ложбина – межсопочное понижение, заполненное делювием каолиновых кор выветривания, на которой формируются специфические бурые почвы с красноватым оттенком.

На суглинистых почвах, подстилаемых гипсоносными породами, формируются бурые аридные почвы с профилем AJca – BMca – BCAnc – CCSca. Местами почвы относятся к сероземовидным, поскольку в них отсутствует метаморфический горизонт BM. Профиль таких почв представлен горизонтами AJca – BCAnc (cs) – CCSca. Отчасти это может быть эффектом орошения, способствовавшим окарбоначиванию и сегрегации карбонатов в горизонте BM. В целинных почвах [5] отмечается отсутствие выделений до 16 (20) см, и редкие карбонатные выделения до 35 см, многочисленные выделения карбонатов начинаются с глубины 35 см.

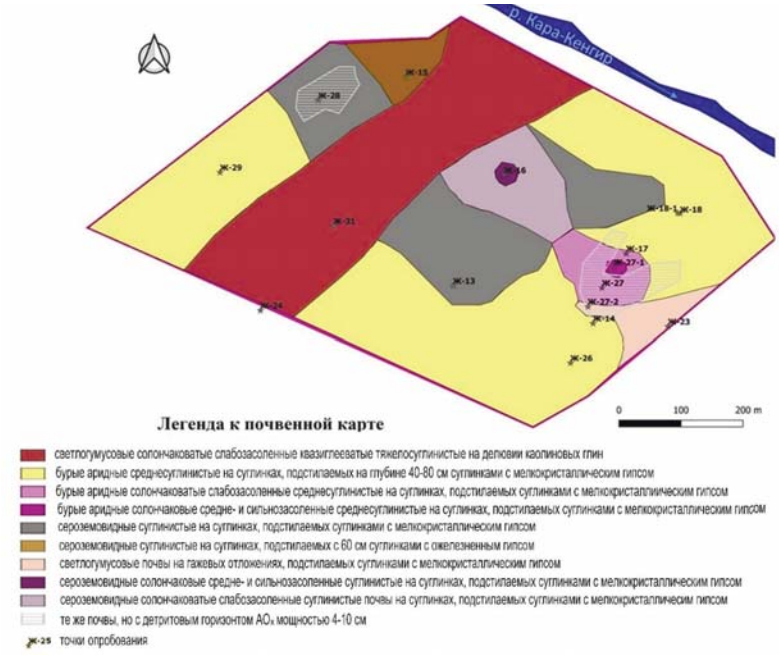


Рис. 1. Почвенная карта Джезказганского ботанического сада

Местами почвообразующие породы представлены гажей (Ж-23, Ж-27–2), т. е. карбонатно-глинисто-гипсовым образованием с содержанием гипса 55–60 % [11], а в одном разрезе (Ж-15) двучленными гипсоносными породами, в верхней из которых гипсовые кристаллы покрыты железистыми аморфными пленками (табл.).

Таблица

Почвы Джезказганского ботанического сада в системе российских и международной WRB классификаций

1977	2004	На породах	WRB
Бурые полупустынные остаточно-луговатые солончаковатые	Светлогумусовые карбонатно-гумусово-стратифицированные солончаковатые квазиглееватые профильно-вскипающие	На делювии каолиновых глин	Luvic Eutric Nitisols (Densic, Endostagnic, Transportic)
Бурые полупустынные неглубоко- и высокосильнозагипсованные карбонатные	Бурые аридные среднесуглинистые профильно-вскипающие	На пылеватых суглинках, подстилаемых на 40–80 см мелкокристалл. гипсом	Yermic Cambic Gypsiric Calcisols (Loamic Siltic, Raptic)
Бурые полупустынные солончаковатые слабозасоленные неглубоко – сильнозагипсованные карбонатные	Бурые аридные солончаковатые слабозасоленные гипссодержащие профильно-вскипающие	На пылеватых суглинках, подстилаемых суглинками с мелкокристалл. гипсом	Cambic Gypsiric Calcisols (Loamic Siltic, Raptic)
Бурые полупустынные солончаковые средне- и сильнозасоленные неглубоко- сильнозагипсованные карбонатные	Бурые аридные солончаковые гипсодержащие профильно-вскипающие	На пылеватых суглинках, подстилаемых суглинками с мелкокристалл. гипсом	Cambic Gypsiric Calcisols (Loamic Siltic, Raptic)
Бурые полупустынные неглубоко- сильнозагипсованные карбонатные	Сероземовидные почвы гипс-содержащие профильно-вскипающие	На пылеватых суглинках, на суглинками с мелкокристалл. Гипсом	Gypsiric Calcisols (Loamic Siltic, Raptic)
Бурые полупустынные неглубоко- сильнозагипсованные карбонатные	Сероземовидные почвы гипс-содержащие профильно-вскипающие	На тяжелых пылеватых суглинках, с 60 см на суглинистых отложениях с ожелезненным гипсом	Takyric Gypsiric Calcisols (Loamic Siltic, Raptic)
Серо-бурые пустынные высокогипсоносные высокозагипсованные очень сильнозагипсованные карбонатные	Светлогумусовые структурно-метаморфические гипсодержащие профильно-вскипающие	На гажевых отложениях, подстилаемых суглинками с мелкокристалл. гипсом	Calcaric Gypsisols (Loamic Siltic, Hypergypsic Geoabruptic, Raptic)
Бурые полупустынные солончаковые средне- и сильнозасоленные неглубоко- сильнозагипсованные карбонатные	Сероземовидные солончаковые средне- и сильно-засоленные гипс-содержащие профильно-вскипающие	На суглинках, подстилаемых суглинками с мелкокристаллическим гипсом	Gypsiric Calcisols (Loamic Siltic, Raptic)
Бурые полупустынные солончаковатые неглубоко- сильнозагипсованные карбонатные	Сероземовидные слабозасоленные гипсодержащие профильно-вскипающие	На суглинках, подстилаемых суглинками с мелкокристалл. гипсом	Gypsiric Calcisol (Loamic Siltic, Raptic)

По классификации WRB определенные трудности возникают в выделении реферативных почвенных групп, поскольку карбонатный профиль сложен, а унаследованный от породы гипс, приуроченный к глубинам 40–70 см, подвергается перераспределению в почвенном профиле. Гажевые почвы с высокогипсоносной почвообразующей породой с глубины 16–40 см были отнесены к Gypsisols: в основном к Calcic и Cambic Gypsisols.

Почвы, в которых гипсоносная порода залегает глубже горизонта с карбонатными новообразованиями, было решено относить к Gypsiric Calcisols.

Красноцветные почвы, приуроченные к межсопочному понижению, определены как Luvic Eutric Nitisols (насыщенность определялась по таблице, исходя из значений pH водной вытяжки 1:5).

Nitisols распространены в субтропическом климате Кении, Эфиопии и Бразилии [10], в условиях Казахстана эти почвы являются наследием теплого и влажного климата, существовавшего на этой территории в неогене.

Выводы

Антропогенное влияние привело к формированию новых нетипичных для северных остепненных пустынь поверхностных горизонтов: под древесными посадками в результате накопления и медленной минерализации в условиях недостаточного увлажнения осадков формируется органогенный горизонт с высоким содержанием тяжелых металлов. Кроме того, в результате орошения карбонаты меняют свое исходное положение, в результате меняется набор срединных горизонтов почв, и, как следствие, классификационное положение почв в Классификации и диагностике почв России, 2004–2022.

Классификация и диагностика почв России 2004–2022 отражает современное состояние и набор горизонтов почвенного профиля, и также позволяет учесть полуколичественные метрики засоления, и карбонатности, но не отражает характеристики почв по содержанию и глубине залегания гипсоносного горизонта, также слабо отражает литологические особенности почв. Международная классификация WRB позволяет наиболее полно передать свойства изучаемых почв: переуплотненность и красноцветность почв ложбины на делювии красноцветных каолиновых глин, гипсоносность на уровне типа почв с высоким положением гипсового горизонта, также позволяет учесть специфический набор горизонтов с высокими содержаниями тяжелых металлов, сформировавшихся в результате создания искусственных древесных посадок. Однако WRB не в полной мере передает солевое состояние почв: степень и глубину залегания солей, что четче отражено в российских классификациях.

Литература

1. Герасимова М. И., Красильников П. В. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014 // Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт // Исправленная и дополненная версия. 2015. 216 с. 2018. (WRB)

2. Глазовская М. А. Северные малокарбонатные сероземы Центрального Казахстана // Известия КазФАН СССР. Серия почвенная. Вып. 1, 2. Алма-Аты, 1945. С. 21–36.

3. Глазовская М. А., Горбунова И. А. Умирбек Успанович Успанов (к 100-летию со дня рождения) //Почвоведение. 2007. № . 9. С. 1138–1140.

4. Джаланкузов Т., Абдыхалыков С. О состоянии загрязнения почв Республики Казахстан // Почвоведение и агрохимия. 2015. № . 4. С. 65–71.

5. Дубовик Я. Ф. Изменение северных малокарбонатных сероземов под влиянием обработки и орошения // Известия академии наук Казахской ССР. № 52. Серия почвенная. Вып. 4. Алма-Ата, 1949. С. 141–191

6. Шишов Л. Классификация и диагностика почв России книга. Смоленск : Ойкумена, 2004. 341 с.

7. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 221 с.

8. Озгелдинова Ж. О., Мукаев Ж. Т. Факторы и условия загрязнения природных компонентов Жезказганского промышленного узла // Гидрометеорология и экология. 2018. № . 1 (88). С. 111–130.

9. Сиротина Т. О. Из истории интродукции плодово-ягодных культур в Жезказганском ботаническом саду // Проблемы и перспективы изучения биоразнообразия растительного мира в Центральной Азии : материалы конф. 2022. С. 473–477.

10. Genesis and classification of Nitisols from volcano-sedimentary lithology in Northeastern Brazil / E. U. C. D. Costa [et al.] // Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2019. Vol. 43. e0180101.

11. Comparative Characteristics of Gypsum Morphotypes in Irrigated and Non-Irrigated Calcaric Gypsisols and Methodological Aspects of Their Study / E. I. Kravchenko, I. A. Yamnova, M. P. Lebedeva, D. L. Golovanov, N. A. Churilin, N. A. Mushnikova, R. E. Musaelyan, S. A. Kusherbayev, S. A. Lednev, A. I. Amanzholov // Eurasian Soil Sc. 2026. Vol. 59, N 7. https://doi.org/10.1134/S1064229325601490

REFLECTION OF CHANGES IN THE GENETIC CHARACTERISTICS OF CENTRAL KAZAKHSTAN SOILS AFTER 80 YEARS OF ANTHROPOGENIC DEVELOPMENT IN THE SYSTEMS OF RUSSIAN CLASSIFICATIONS AND WRB (USING THE EXAMPLE OF SOILS OF THE DZHEZKAZGAN BOTANICAL GARDEN)

E. I. Kravchenko[1,2], D. L. Golovanov[1], A. I. Amanzholov[3], S. A. Kusherbayev[3]
[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow
krav4enko_elena@mail.ru, dm_golovanov@mail.ru
[2]Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow
[3]E. A. Buketov Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan
aidyn_1988kz@mail.ru, kusherbaev_sultan@mail.ru

A classification of the soils of the Zhezkazgan Botanical Garden was completed using three soil classification systems: the 1977 USSR Soil Classification and Diagnostics, the 2004–2022 Russian Soil Classification System (RSCS), and the international Soil Resources Abstract Database (WRB). The 1977 classification system is common to both Russia and Kazakhstan, while clarification of the classification status of gypsum-bearing soils is required in the Soil Classification System of Russia (2004, 2008, 2022). The international experience of the WRB is useful in this regard for both Russia and Kazakhstan. The characteristics of Gypsisols and Nitisols in the Zhezkazgan Botanical Garden were identified under long-term anthropogenic impacts such as irrigation and tree planting, superimposed on the natural horizontal and vertical heterogeneity of parent materials and soil properties. A large-scale soil map of the study area was constructed.

УДК 631.41:504.53(571.56)

ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЯКУТИИ

Я. Б. Легостаева

Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Якутск

Введение. Традиционно исследования вертикальной миграции микроэлементов в почвенном профиле направлены на понимание механизмов их перераспределения, вымывания в грунтовые воды и доступности для растений. Интерес ученых к этой теме обусловлен как естественными почвообразовательными процессами (подзолообразование, лессиваж), так и растущей антропогенной нагрузкой на почвы.

Основоположники учения о геохимии ландшафтов сформировали базу для понимания того, как физико-химические условия среды определяют подвижность элементов. Общеизвестны принципы радиальной миграции элементов и их концентрирования на стыках разных сред, разработанной Б. Б. Полыновым [1] и теории геохимических барьеров (щелочных, кислых, окислительных, восстановительных), на которых происходит резкое снижение подвижности и аккумуляция микроэлементов при их движении вниз по профилю, предложенной А. И. Перельманом [16]. Н. С. Касимов развил идеи ландшафтно-геохимического анализа, исследовав радиальную (вертикальную) контрастность распределения элементов в автоморфных и гидроморфных почвах уже техногенно-преобразованных ландшафтов [13]. Широко освещены исследования биогенных и ландшафтных циклов элементов в различных типах почв в работах В. В. Добровольского, В. Б. Ильина, А. И. Сысо, В. А. Алексеенко, В. К. Кашина, Л. Л. Убугунова, Т. Т. Тайсаева и мн. др. [2; 12; 18; 19]. Миграция элементов в почвах происходит как в вертикальном (внутри профиля), так и в горизонтальном направлениях (боковой, поверхностный сток) [1; 5; 13; 14; 23].

На сегодняшний день ключевым трендом отечественного и мирового экологического мониторинга почв является определение естественного геохимического фона, что позволяет объективно выявлять масштаб, уровень и интенсивность техногенного загрязнения [3; 11; 17–26]. На этом фоне достаточно много работ по техногенной миграции элементов по латерали почвенного покрова с оценкой полиэлементного загрязнения и геоэкологических рисков [6; 8–15].

Республика Саха (Якутия) является ключевым стратегическим регионом России по добыче алмазов, золота, каменного угля и железных руд. Масштабное освоение этих месторождений неизбежно приводит к сильной техногенной трансформации северных ландшафтов. В процессе работы горно-обогатительных комбинатов сформированы колосальные массивы техногенно-преобразованных ландшафтов откуда в окружающую среду попадают огромные объемы рудных элементов. И почва первой принимает на себя удар, работая как

главный геохимический буфер природно-техногенной экосистемы. А в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород почвенный профиль еще и ограничен мощностью сезонно-талого слоя (СТС). Именно поэтому изучение миграции химических элементов в криолитозоне имеет решающее значение для прогнозирования экологической устойчивости северных экосистем. Целью работы являлось выявление закономерностей вертикального перераспределения рудных элементов в естественных и техногенных ландшафтах Якутии на примере наиболее распространенных типов месторождений твердых полезных ископаемых, разработка которых идет открытым или подземным способом.

Результаты и обсуждение. В ненарушенных средне и северотаежных ландшафтах Якутии вертикальная структура почвенного профиля сбалансирована за счет действия противоположно направленных геохимических векторов. Нисходящий миграционный поток лабильных форм элементов блокируется на границе сезонно-талого слоя, где формируется устойчивый температурный и гидродинамический криогенный барьер, обогащенный гидроксидами железа и марганца. Этот вынос полностью компенсируется восходящим вектором: криотурбационным подтягом вещества при зимнем промерзании и биогенной концентрацией элементов в подстилке за счет лиственничного и, преимущественно, хвойного опада.

Антропогенное воздействие коренным образом дифференцирует ландшафты по преобладающему типу радиальной миграции. В таблице сведены краткие выводы, характеризующие направленность вертикальной миграции элементов в почвенном профиле на четырех типах месторождений.

В алмазодобывающих провинциях на импактных территориях формируется устойчивый щелочной барьер (pH 7,8–8,2), обусловленный карбонатной карьерной пылью кимберлитов. Это переводит катионогенные элементы (например, когерентные кимберлитам – Ni, Cr и Co) в слаборастворимые формы и вызывает их жесткую поверхностную фиксацию в верхних 0–15 см профиля. В золоторудных ландшафтах сингенетичное окисление сульфидных минералов запускает экстремальное техногенное подкисление среды (pH < 4,2). Это полностью разрушает сорбционную емкость почвенного поглощающего комплекса и микроэлементы в опасных токсичных концентрациях, что, прежде всего, касается As и Cd, переходят в ультраподвижные формы, способные к глубокому перемещению. В отличие от алмазных провинций (Ni, Cr, Co) и золоторудных районов (As, Sb, Bi), геохимический маркер угольного техногенеза (на примере Южно-Якутского угольного бассейна) имеет свою специфическую ассоциацию элементов – полиметаллическая макро-ассоциации м Fe и Mn поступают в почву как с самой угольной пылью, так и в результате выветривания вмещающих пород карьеров. «Угольная ассоциация» – это микроэлементы-индикаторы -Sr, Ba, Be, V и Ti. Эти элементы изначально накоплены в древнем органическом веществе углей и вмещающих сланцах. При сжигании или механическом истирании угля они высвобождаются в верхних горизонтах почв и почвоподобных образований на периферии промзон.

Таблица

Сводная эколого-геохимическая матрица

Параметр оценки	Алмазные месторождения (кимберлиты)	Золоторудные месторождения (сульфидные руды)	Железорудные месторождения (оксидные/карбонатные)	Угольные месторождения (каменные угли)
Специфика субстрата и отходов	Ультраосновные породы, богатые карбонатами кальция и магния	Сульфидные минералы (пирит, арсенопирит), кварцевые жилы	Железистые кварциты, магнетиты, богатые оксидами Fe и Mn	Ископаемое органическое вещество с примесью сульфидов и сланцев
Элементы-индикаторы техногенеза	Ni, Cr, Co, Mn, Sr, Ba, Li	As, Sb, Bi, Pb, Cd; единично Tl, Cd, Hg, U	Fe, Mn, Cu, Zn	Sr, Ba, V, Be, Ti, S
Кислотно-щелочной режим	Щелочной и слабощелочной pH = 7,8–8,5	Экстремально кислый pH = 3,5–4,2	Нейтральный и слабокислый pH = 5,5–6,5	Кислый и слабокислый pH = 4,5–5,2
Ведущий геохимический барьер	Щелочной и карбонатный (в верхних горизонтах почв).	Отсутствует в почве (разрушен кислотой	Сорбционный железистый (оксидный барьер в слое 0–10 см)	Временный криогенный (быстро деградирует)
Характер и форма вертикальной миграции	Поверхностное депонирование. Микроэлементы связаны в карбонаты. Миграция слабая	Сквозной нисходящий транзит. Мышьяк движется в подвижных анионных формах	Локально-аккумулятивный. Фиксация металлов на «губке» из гидроксидов Fe	Интенсивный нисходящий транзит в виде подвижных металлоорганических комплексов
Главный триггер активизации элементов	Будущее (прогнозируемое) подкисление почв	Экстремальное подкисление и глубокое таяние мерзлотного слоя	Смена окислительной среды на восстановительную(переувлажнение)	Падение альбедо (черная пыль) и сильный радиационный прогрев почв
Основной экологический риск	Токсичность верхнего корнеобитаемого слоя, формирование поверхностного засоления	Вынос элементов (в частности As, Tl, Cd, Hg, U) в высокотоксичных концентрациях в подземные и речные воды	Механическое подавление почв, заиливание водоемов оксидами	Масштабное полиметаллическое загрязнение водных бассейнов

Возможно, фактором, резко интенсифицирующим вертикальную миграцию элементов в почвенном профиле в зонах угледобычи, выступает нарушение теплового баланса криолитозоны. Так как массивное выпадение угольной пыли черного цвета на поверхность почвенного покрова резко снижает альбедо ландшафтов, то в условиях инсоляции это приводит к экстремальному прогреву дневной поверхности и ускоренному таянию вечной мерзлоты. И, как предположение, основанное на полевых наблюдениях, мощность сезонно-талого слоя вблизи угольных разрезов возрастает в 1,5–2 раза относительно природных аналоговых территорий, что полностью нивелирует сдерживающую роль криогенного геохимического барьера на глубине.

Выводы. В естественных криоморфных почвах северной тайги радиальный профиль находится в состоянии квазиравновесия. Нисходящий летний поток лабильных элементов блокируется на нижней границе СТС (глубина 1,2–1,8 м), где формируется температурный и гидродинамический криогенный барьер, обогащенный гидроксидами (Fe) и (Mn). Этот процесс компенсируется

восходящими векторами: зимней криотурбацией и биогенной аккумуляцией микроэлементов в подстилке.

В сезоннопромерзающих почвах южной тайги вертикальная миграция микроэлементов циклична. В теплый период происходит интенсивный вынос элементов из верхних горизонтов за счет кислого подзолистого выщелачивания, а зимой – локальное криогенное концентрирование и восходящий пленочный перенос к фронту промерзания.

Антропогенное воздействие коренным образом трансформирует эти механизмы, вызывая геохимическую дивергенцию ландшафтов. В алмазодобывающих районах (Якутская алмазоносная провинция) карбонатная пыль кимберлитов формирует в верхних горизонтах щелочной барьер (pH 7,8–8,2). Это переводит катионогенные металлы (Ni, Cr, Co) в слаборастворимые формы и блокирует их миграцию вглубь, вызывая жесткую поверхностную фиксацию (превышение фона в среднем в 4–6 раз). В золото и железорудных районах (Центрально-Алданский рудный район) окисление сульфидных минералов (FeS_2, FeAsS) приводит к экстремальному подкислению среды (pH < 4,2). В этих условиях сорбционная емкость почв разрушается, а As, Sb, Bi, Pb, Cd переходит в ультраподвижное состояние.

Механическое уничтожение растительности и тепловое загрязнение промзон ведут к деградации вечной мерзлоты и заглублению СТС. В сочетании с современным трендом глобального потепления климата это разрушает подстилающий криогенный барьер. Накопленные многолетние пулы элементов вовлекаются в глубокие нисходящие потоки. Происходит инверсия экологической функции почв криолитозоны, в том числе криаморфных и сезоннопромерзающих типов: из аккумулятора и буфера они превращаются в транзитную систему, открывая токсикантам путь в надмерзлотные водоносные горизонты. В следствии этого для корректной оценки экологических рисков в криолитозоне необходим обязательный послойный генетический мониторинг всей толщи СТС, так как анализ исключительно поверхностного слоя (0–5 см) не отражает масштабы глубинного загрязнения почв.

Литература

1. Ахметова Г. В. Геохимические особенности почв волнистой озерноледниковой песчаной равнины среднетаежной подзоны Карелии // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2019. Вып. 100. С. 53–82. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-53-2

2. Алексеенко В. А., Алексеенко Л. П. Геохимические барьеры. М. : Логос, 2003. 144 с.

3. Безносиков В. А., Лодыгин Е. Д., Кондратенок Б. М. Оценка фонового содержания тяжелых металлов в почвах европейского северо-востока России // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1064–1070. 5.

4. Безносиков В. А., Лодыгин Е. Д., Чуков С. Н. Ландшафтно-геохимическая оценка фонового содержания тяжелых металлов в почвах таежной зоны // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия Почвоведение. 2010. Сер. 3. Вып. 2. С. 114–127.

5. Васильчук Ю. К., Васильчук Д. Ю., Гинзбург А. П. Латеральная и радиальная дифференциация химического состава криогенных почв долины реки Вилюй (Центральная Якутия) // Арктика и Антарктика. 2021. № 3. С. 80–105. DOI: 10.7256/24538922.2021.3.36671.

6. Гололобова А. Г. Исследование пространственного распределения микроэлементов в почвах методом многомерного статистического анализа (на примере территории Далдынского кимберлитового поля, Северо-Западная Якутия) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 3. С. 89–103

7. Добровольский В. В. География микроэлементов: Глобальное рассеяние. М. : Мысль, 1998. 273 с.

8. Геохимические свойства и трансформация микроэлементного состава почв при разработке коренных месторождений алмазов в Якутии / Я. Б. Легостаева, А. Г. Гололобова, В. Ф. Попов, В. С. Макаров // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 729–738. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.11

9. Легостаева Я. Б., Гололобова А. Г. Особенности распределения микроэлементов в почвах фоновых и импактных зон на участках алмазодобычи на Северо-Западе Сибирской платформы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 9. С. 142–153. DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3364

10. Легостаева Я. Б., Гололобова А. Г. Анализ эколого-геохимического состояния почвенного покрова селитебных территорий Алданского золотоносного района Якутии // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 4. С. 64–69.

11. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.

12. Кашин В. К., Убугунов Л. Л. Микроэлементный состав почв и степных фитоценозов Западного Забайкалья // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2 (83). С. 86–95.

13. Касимов Н. С., Геннадиев А. Н., Лычагин М. Ю. Пространственные аспекты фонового геохимического мониторинга // Геохимические методы в экологических исследованиях. М., 1994. С. 20–35.

14. Кузьмин В. А. Геохимические барьеры в почвах Прибайкалья // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1197–1202.

15. Тяжелые металлы в почвах Южного Урала в условиях техногенеза / М. Г. Опекунова [и др.] // Почвоведение. 2011. № 3. С. 312–324.

16. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М. : Астрея-2000, 1999. 768 с.

17. Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М. : Недра, 1990. 335 с.

18. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.

19. Геохимия ландшафта Байкальского региона : учеб. пособие / Т. Т. Тайсаев [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. госуниверситета, 2019. 212 с.

20. Трифонова Т. А., Селиванова Н. В., Ильина М. Е. Экологический мониторинг почвенных систем. Владимир : Изд-во ВлГУ, 2011. 188 с.

21. Фрид А. С., Борисочкина Т. И. Параметры моделей миграции тяжелых металлов и других элементов из хвостов в первые два месяца после попадания на карбонатную песчаную почву // Агрохимия. 2018. № 2. С. 88–93.

22. Фрид А. С., Борисочкина Т. И. Параметры моделей вертикальной миграции в почвах тяжелых металлов в окрестности завода по производству свинца и сурьмы // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2019. № 97. С. 150–164.

23. Яшин И. М., Раскатов В. А., Шишов Л. Л. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. М. : МСХА, 2003. 316 с.

24. Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil / E. L. Ander, C. C. Johnson, M. R. A. Cave, B. Palumbo-Roe, C. P. Nathanail, R. M. Lark // Science of the Total Environment. 2013. Vol. 454–455. P. 604–618. DOI: 10.1016/j. scitotenv.2013.03.005.

25. Matschullat J., Ottenstein R., Reimann C. Geochemical background – can we calculate it? // Environ. Geol. 2000. Vol. 39. P. 990–1000. DOI: 10.1007/s002549900084

26. Reimann C., Garrett R. G. Geochemical background – concept and reality // Sci. Total Environ. 2005. Vol. 350. P. 12–27. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.01. 047

VERTICAL MIGRATION OF ORE ELEMENTS IN THE SOIL PROFILE OF NATURAL AND TECHNOGENICALLY TRANSFORMED LANDSCAPES OF YAKUTIA

Ya. B. Legostaeva
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk

The results of a study of the mechanisms of radial differentiation and vertical migration of ore elements (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, As, Ba, Sr, Li, Pb, Sb, V, Be, Ti, Cd, Tl, Hg, U) in permafrost soils of Yakutia are presented. Profound differences are revealed between the stable cyclic distribution of elements in the natural taiga and the destructive flows of toxicants under the conditions of diamond and gold mining. It is established that anthropogenic permafrost degradation alters the ecological function of soils in the cryolithozone, transforming them from a geochemical barrier into a transit system.

УДК 631.47

РЕШЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ ПОЧВ ПОДЗОНЫ ПОДГОРНЫХ РАВНИН АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Н. А. Меркулов, Е. Г. Пивоварова

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул
merkulna@gmail.com, pelegri@mail.ru

Введение

Основа любой классификации – обобщённые теоретические знания, что успела накопить наука. Как писал И. А. Соколов, «…классификация организует наши знания, приводит их в систему и отражает их современный уровень» [цит. по: 5, с. 165]. В основе любой базовой классификации аккумулируются только теоретические знания, её практическое применение должно быть адаптировано к региональным условиям. Некоторые классификационные проблемы до сих пор не решены: во-первых, это определение ведущих диагностических признаков и оценка их таксономического веса; во-вторых, это проблема эталонов или так называемых центральных образов, особенно применительно к региональным условиям. А также вопросы, связанные с классификационными соседями и их диагностикой. Для решения этих проблем были использованы методы математического моделирования таксономических групп почв на уровне региональной классификации [3].

Целью данного исследования являлась разработка математических моделей региональных почвенных эталонов 30 почвенного района (30 ПР) типичных и выщелоченных тучных мощных и среднемощных чернозёмов подгорных равнин Алтайского края на основе профильно-генетической классификации почв СССР 1977 г.

Задачи, поставленные в исследовании:

1) обосновать использование коэффициента эффективности передачи информации в качестве таксономического веса диагностируемых признаков;

2) определить классификационные границы региональных эталонов почв исследуемого почвенного района на основе специфичных состояний признаков;

3) выявить закономерности изменения агрохимических свойств в почвенном покрове и профиле региональных эталонов.

Объекты и методы

Район исследования находиться в подзоне типичных и выщелоченных тучных чернозёмов подгорных равнин. Естественная растительность была представлена луговыми степями, в настоящее время распахана. Почвообразующими породами служат преимущественно тяжёлые лёссовидные суглинки [4].

В ходе исследований использованы сравнительно-географический, картографический, профильный методы. Для построения математической модели были использованы первичные материалы крупномасштабного почвенного обследования исследуемой территории предоставлены АлтайНИИГипрозем.

Метод информационно-логического анализа был использован для разработки региональных эталонов почв 30 ПР. Основными параметрами для установления классификационных границ почвенных таксонов являлись специфичные (наиболее вероятные) состояния явления (свойств почв) для определенного типа, подтипа почв. Для обоснования тесноты связи почвенного свойства с определенными таксономическими группами (таксономический вес признака) использовали коэффициент эффективности передачи информации [1].

Программа этого алгоритма разработана Иваничкиным Д. И. и размещена на сайте АГАУ https://disk.yandex.ru/d/DX6e7YAqUUw79g .

Результаты

Установлено, что наибольшими значениями коэффициента эффективности передачи информации Кэфф обладают следующие агрохимические признаки (табл. 1): содержание гумуса, %; pH водной вытяжки; содержание валового азота, по Тюрину, % и сумма поглощённых оснований. По смыслу этот показатель соответствует таксономическому весу признака – чем выше этот коэффициент, тем в большей степени классификационные группы отличаются по этому признаку между собой.

Данные свойства и характер их изменения в профиле почвы тесно связаны с характером (дернового) почвообразовательного процесса. По мощности гумусового слоя черноземы исследуемого района отличаются незначительно, о чем свидетельствуют низкие значения $К_{эфф}$. Это может быть обусловлено как гомогенизацией пахотного слоя в результате сельскохозяйственного производства, так и увеличением случайного варьирования внутри групп.

Таблица 1

Коэффициент эффективности передачи информации от свойств к таксономической группе почв 30 ПР

Свойства	$К_{эфф}$
Мощность гумусового горизонта ($М_{А+АВ}$), см	0,0394
Содержание гумуса, %	0,1383
pH водной вытяжки	0,1386
Сумма поглощённых оснований, мг.-экв. /100 г почвы	0,1054
Содержание подвижного фосфора, по Чирикову, мг/100 г почвы	0,0263
Содержание подвижного калия, по Чирикову, мг/100 г почвы	0,0486
Содержание валового азота, по Тюрину, %	0,1189
Содержание фракций Ила (частицы <0,001мм), %	0,0403
Содержание фракций физической глины (частицы <0,01 мм), %	0,0346

В данной работе региональные эталоны почв выделялись на уровне подтипа по профильно-генетической классификации почв СССР 1977 г. [2]. По результатам двухфакторного информационного анализа выявлена зависимость признаков (агрохимических свойств почв) от таксономической группы и генетического горизонта.

Определение классификационных границ для различных таксономических групп почв позволяет оценить наиболее вероятный диапазон варьирования свойств почв 30 почвенного района (табл. 2). Полученная количественная мо-

дель представляет собой специфичные состояния свойств выделенных эталонов и позволяет провести классификационные границы. Поскольку специфичные состояния определялись для двух наиболее затронутым почвообразованием горизонтов (Апах и А, АВ), по характеру их изменения в профиле и в пространстве можно судить о закономерностях современного почвообразования.

Как известно [2], в профиле черноземных почв характер изменения свойств носит аккумулятивный характер. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что не все свойства имеют аккумулятивный характер распределения биогенных элементов в профиле исследуемых почв. Под влиянием агрогенных процессов, свойства почв и варьирование признаков перестают соответствовать дерновому процессу почвообразования. Агроистощение у черноземов, выщелоченных прослеживается по уменьшению содержание подвижных калия и фосфора в пахотном горизонте по сравнению с подпахотным. Такая же тенденция по содержанию фосфора наблюдается у лугово-чернозёмных почв.

На развитие агрогенных процессов указывает также характер изменения гранулометрического состава в профиле почв. В ходе дернового процесса дифференциации профиля по грансоставу не происходит. Однако в результате процессов водной эрозии может наблюдаться облегчение пахотного горизонта. У чернозёмов, выщелоченных и типичных, а также у лугово-чернозёмных почв наблюдается более низкое содержание илистых частиц в пахотном горизонте по сравнению с подпахотным (разница в 2–5 рангов). Помимо илистой фракции в чернозёмах типичных в пахотном горизонте отмечается облегчение по содержанию фракций физической глины. (табл. 2).

Как показала практика, многие почвы имеют свойства двух и более эталонов, так называемые «классификационные соседи». Для их объективной диагностики была разработана качественно-количественная модель эталонов почв 30 ПР. Полученная математическая модель имеет следующий вид:

$$ТП_{1977} = pH_B^{Ап/п} \boxtimes K_2O^{Ап/п} \boxtimes (pH_B^{Ап} \boxtimes S^{Ап/п} \boxtimes P_2O_5^{Ап/п} \boxtimes (ФГ^{Ап/п} \boxtimes Ил^{Ап/п}))$$

где $ТП_{1977}$ – ранг таксономической группы (типа, подтипа) почвы по классификации СССР, 1977 г.; S – ранг таксономической группы по содержанию суммы поглощенных оснований; M_{A+B} – ранг таксономической группы по мощности гумусового горизонта; Г – ранг таксономической группы по содержанию валового гумуса; $N_в$ – ранг таксономической группы по содержанию валового азота; Ил – ранг таксономической группы по содержанию ила; ФГ – ранг таксономической группы по содержанию физической глины; K_2O – ранг таксономической группы по содержанию подвижного калия; P_2O_5 – ранг таксономической группы по содержанию подвижного фосфора; А, АВ– обозначение горизонтов по классификации почв СССР, 1977 г.; $\boxtimes$ – знак функции нелинейного произведения.

Точность безошибочного прогноза составляет – 35 %, а с ошибкой в 1 ранг – 95 %.

Таблица 2

30 ПР Специфичные состояния свойства почв основных таксономических групп региональных эталонов по горизонтам, Кл. 1977г.

Свойства	Размерность специфичных состояний, метрическое значение (ранг)							
	Чт		Чв		ЛЧ		ЧЛ	
	Ап	АВ	Ап	АВ	Ап	АВ	Ап	АВ
Мощность, А+АВ, см (ранг)	30–40(2)		70–80(6)		50–60(4)		40–60(3–4)	
Г, % (ранг)	6,0–8,0(4–5)	<5,0(1–2)	7,0–8,0(5)	<4,0(1)	>9(7)	<4,0(1)	>9(7)	<5,0(1–2)
pH_{H2O} (ранг)	6,5–7,5(4–5)	7,0–7,5(5)	5,5–6,0(2)	6,0–6,5(3)	7,5–8,0(6)	7,5–8,0(6)	>8,0(7)	>8,0(7)
S, мг-экв. /100 г (ранг)	40,0–45,0(5)	30,0–35,0(3)	30,0–40,0(3–4)	30,0–35,0(3)	>45,0(6)	<30(1–2)	>45,0(6)	<30(1–2)
P_2O_5, мг/100 г (ранг)	20,0–25,0(4)	10,0–15,0(2)	10,0–20,0(2–3)	20,0–25,0(4)	10,0–20,0(2–3)	<10,0(1)	<10,0(1)	<10,0(1)
K_2O, мг/100 г (ранг)	10,0–15,0(3)	5,0–10,0(2)	<10,0(1–2)	<10,0(1–2)	>20,0(5–6)	>20,0(5–6)	20,0–25,0(5)	<10,0(1–2)
Nв , % (ранг)	0,35–0,40(5)	0,25–0,30(3)	>0,45(7–8)	<0,25(1–2)	>0,45(7–8)	0,25–0,30(3)	>0,45(7–8)	0,20–0,30(2–3)
Ил (< 0,001мм); % (ранг)	20,0–30,0(3–4)	25,0–35,0(4–5)	15,0–25,0(2–3)	30,0–35,0(5)	15,0–20,0(2)	15,0–20,0(2)	<20,0(1–2)	>35,0(6)
ФГ(< 0,01мм), % (ранг)	40,0–60,0(2–3)	50,0–70,0(3–4)	50,0–60,0(3)	40,0–60,0(2–3)	<50,0(1–2)	<50,0(1–2)	>60,0(4–5)	>60,0(4–5)

Примечание: Чв – чернозем выщелоченный; Чт – чернозем типичный, ЧЛ – лугово-черноземная почва, ЛЧ – черноземно-луговая почва; Апах – пахотный горизонт; АВ – переходный гумусовый горизонт, pH_{H2O} – актуальная кислотность; S- сумма поглощенных оснований, мг-экв. /100 г почвы; Nобщ – содержание валового азота. %; P2O5 – содержание подвижного фосфора по Чирикову, мг/100 г почвы; K_2O – содержание обменного калия по Чирикову, мг/100 г почвы; Г – содержание гумуса, %; М(А+АВ) – мощность гумусового слоя, см; Фг – содержание фракции <0,01 мм, %; Ил – содержание фракции <0,001 мм, %.

Заключение

Таким образом установлены наиболее значимые диагностические признаки для таксономических групп 30 ПР. Наибольшими значениями таксономического веса обладают следующие агрохимические признаки: содержание гумуса, %; pH водной вытяжки; содержание валового азота, по Тюрину, % и сумма поглощённых оснований, т. е. признаки, связанные с основным и частным (pH водной вытяжки) почвообразовательными процессами.

Установлены классификационные границы агрохимических свойств основных почв 30 ПР. Свидетельствующие о развитии агрогенных процессов таких как агроистощение и эрозия.

Для идентификации почв, в том числе так называемых «классификационных соседей» предложена качественно-количественная модель, позволяющая определить принадлежность почвы к тому или иному региональному эталону с точностью 95 %.

Литература

1. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере её влажности / Ю. Г. Пузаченко, Л. О. Карпачевский, Н. А. Взнуздаев // Закономерности пространственного варирования свойств посв и информационно-статистические методы их изучения. М. : Наука, 1970. С. 103–121.

2. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 233 с.

3. Пивоварова Е. Г., Антонова О. И., Гефке И. В. Математические модели региональных эталонов почвенного района (39) выщелоченных тучных среднемощных чернозёмов увалисто-холмистых предгорий Алтая // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 12 (230). С. 37–42.

4. Почвы Алтайского края. М. : Изд-во АН СССР, 1959. 382 с.

5. Соколов И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения: монография. Новосибирск : Гуманитар. технологии, 2004. 288с.

SOLVING CLASSIFICATION PROBLEMS USING MATHEMATICAL MODELS OF REGIONAL SOIL STANDARDS IN THE PEDESTRIAN PLAIN SUBZONE OF THE ALTAI KRAI

N. A. Merkulov, E. G. Pivovarova
Altai State Agrarian University, Barnaul
merkulna@gmail.com, pelegri@mail.ru

Regional soil standards have been developed, and classifications of soil taxonomic group boundaries in Soil Region 30 have been substantiated using information-logical analysis. The 1977 USSR Soil Classification was used as the classification. The taxonomic weight of diagnostic features for soils in Soil Region 30 (SR 30) has been determined. These features reflect key aspects of the primary (chernozemny) soil formation process. Humus content, pH of aqueous extract, total nitrogen content, and partially absorbed bases have the highest taxonomic weight. Using a two-factor information-logical analysis, specific soil state properties are identified for each taxonomic group of studied soils. A set of characteristic physical and physicochemical properties of a given taxonomic group can serve as a regional standard.

УДК 631.422+631.445.1

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТОРФА ГОРНЫХ БОЛОТ ХРЕБТА БАСЕГИ

И. В. Рычкова[1], И. А. Самофалова

Пермский государственный аграрно-технологический университет им. академика Д.Н. Прянишникова, Пермь
Rychkova-IV@mail.ru, samofalovairaida@mail.ru

Самое высокое содержание органического вещества (ОВ) отмечается в торфяных почвах [11]. Важная особенность торфяных почв – высокая сорбционная способность, что позволяет им концентрировать и удерживать поступающий в них органический материал. Это дает возможность использовать торфяные залежи как объект информации об изменениях природной среды прошлого в период накопления торфа [8].

Почвенный покров России – основной резервуар углерода во всем мире. Содержание почвенного органического вещества (ПОВ) в различных природных зонах России были оценены многочисленными исследователями [1; 3; 7; 9–11].

Одной из актуальных задач современного периода является оценка роли болот в глобальном изменении климата. Болотным экосистемам как крупным резервуарам органического углерода и ощутимого источника CO_2 принадлежит важная роль в поддержании газового баланса атмосферы [9; 13]. Элементный состав является фундаментальной характеристикой любых органических соединений в почве. Накоплен большой объем информации, характеризующий особенности элементного состава почв разных типов [12].

Цель исследования – изучить элементный состав органического вещества торфа горных болот хребта Басеги.

Объекты и методы. Исследования проводили в торфяных залежах горных болотных систем хребта Басеги (Средний Урал). Рельеф среднегорный (так как высоты колеблются от 600 до 900 м), асимметричный: западный склон более пологий, восточный более крутой. Образование разных горных водосборных бассейнов указывает на различные процессы разрушения горного массива и роста русловой системы трещин вверх по склону в западной и восточной части хребта. Болотистые участки чаще всего прослеживаются в зонах перехода (ниже 700 м над у. м.) между субальпийскими лугами, парковым лесом и горной тайгой, где мелколесье и редколесье соседствуют друг с другом.

Исследования проводили в пределах водосборных воронок на двух ключевых участках, расположенных на части склонов западной (517, 525 м над у. м., Т38 и Т37 соответственно) и восточной (570 м над у. м., Т36) экспозиций хребта на горе Северный Басег. Отбор образцов в торфяных залежах осуществлен с интервалами в 10 см до полного обследования торфяного слоя. Определение C, N, H проводили на PE 2400-II (система элементного CHNS анализа) (Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск). Содержание кис-

лорода находили по разнице. По данным элементного анализа расчетным путем находили атомные отношения C/N в органическом веществе торфов. Использованы методы описательной статистики, $p < 0,05$.

Результаты исследования. Элементный состав является фундаментальной характеристикой органических соединений. Результаты проведенного элементного анализа позволяют характеризовать некоторые особенности ОВ торфа. Согласно полученным данным, органическое вещество торфа больше содержит углерода – 31–53 мас. %, вторым по значимости элементом является кислород – 27–50 мас. %. Содержание водорода варьирует в диапазоне 4,6–8,2 мас. %, а азота – 1,1–2,6 мас. %.

Рассматривая содержание элементов по торфяным залежам, заметно их различное содержание (рис. 1). Так, содержание углерода в ТЗ на западном склоне несколько больше (на 3–6 мас. %). Медианное значение содержания углерода на западном склоне в ТЗ 7 составило 50,22 и в ТЗ 8 – 46,68 мас. %, что несколько больше, чем в ТЗ 6 на восточном склоне (45,13 мас. %). Среднеарифметическое значение и медиана являются близкими, что указывает на близкое к нормальному распределение С.

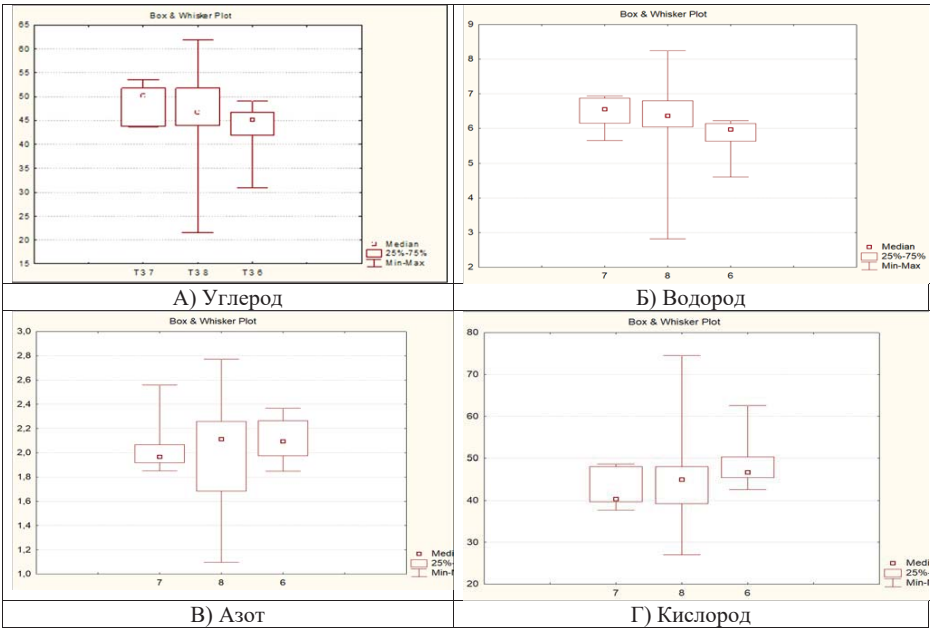


Рис. 1. Статистическое распределение содержания элементов в торфе

В торфе, сформировавшемся на западном склоне, содержание водорода несколько больше, чем в торфе ТЗ на восточном склоне (рис. 1, *б*). Содержание азота отличается незначительно в разных ТЗ (рис. 1в). По содержанию кислорода в ТЗ отмечается обратная тенденция: в ТЗ6 на восточном склоне этого

элемента содержится в среднем в залежи – 48,10 мас. %, а в ТЗ на западном склоне – 42,24–45,77 мас. %. Значения медианы со средним арифметическим отличаются: среднее значительно выше медианы (рис. 1, *г*). Это говорит о том, что в профиле торфяных залежей есть участки с очень высокими локальными концентрациями элемента.

Необходимо отметить, что максимальное варьирование содержания элементов отмечается в ТЗ8 на высоте 517 м н. у. м. В торфяных залежах 7 и 6 показатель дисперсии значительно ниже. Высокая дисперсия свидетельствует о сильной неоднородности торфа. Таким образом, большей неоднородностью элементного состава торфа в пределах профиля ТЗ характеризуется ТЗ8, где максимальные и минимальные значения значительно отличают этот профиль от остальных. Низкая дисперсия содержания элементов в ТЗ7 и ТЗ6 указывает на некоторую стабильность состава органического вещества.

Для определения особенностей состава ОВ торфа в ТЗ, сформировавшихся на разных гипсометрических ступенях и разных геоморфологических условиях, в том числе экспозиции склонов удобнее использовать не процентное выражение состава ОВ торфа, а атомные отношения элементов [5].

Одним из критериев биохимической устойчивости торфа является отношение C/N. Интенсивность микробиологической деструкции ОВ торфов зависит от содержания валового азота и доступности микрофлоре азотных соединений. Азот входит, в основном, в состав негидролизуемой части торфа (около 60–80 % от общего содержания азота) и считается труднодоступным для растений и микрофлоры. Известно, что азот в торфах аккумулируется преимущественно биохимически устойчивыми веществами – гуминовыми кислотами [1; 2; 5–7]. Отношение C:N (углерод к азоту) может использоваться как биомаркер, отражающий темпы разложения органического вещества. Низкие значения указывают на активное разложение (потерю углерода), высокие – на консервацию вещества в условиях повышенной обводнённости.

Степень обогащенности ОВ торфа азотом C/N варьирует от 22,94 до 33,69 на западном склоне и от 19,53 до 27,33 на склоне восточной экспозиции. В среднем показатель C/N изменяется от 28,4 в ТЗ на склоне западной экспозиции до 24,6 в ТЗ восточной экспозиции (рис. 2).

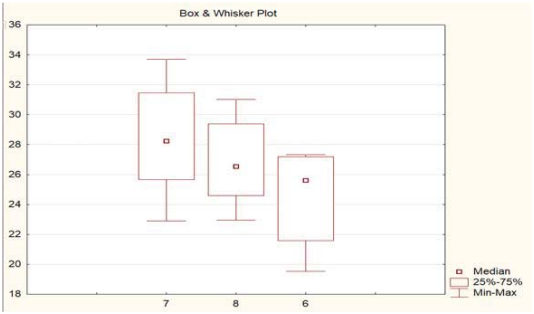


Рис. 2. Статистическое распределение показателя C/N

Известно, что верховые торфа имеют более широкое отношение C/N, чем низинные торфа, а из групп – в моховой группе данный показатель больше, чем в травяной. Таким образом, можно предположить, что торф в ТЗ6 на склоне восточной экспозиции образован с большей долей участия травяной группы, чем торф на склоне западной экспозиции.

При C/N более 14 торфяные почвы характеризуются очень низкой биохимической устойчивостью. Несмотря на очень низкую биохимическую устойчивость ОВ торфов для всех исследуемых ТЗ, можно отметить несколько большую устойчивость ОВ торфа в ТЗ на восточном склоне хребта.

Изменение отношения C/N может использоваться в качестве индикатора изменения гидрологических условий на болоте. Так, некоторое повышение отношения в ТЗ 7 (525 м над у. м.) указывает на большую обводненность при формировании торфяной залежи в слое торфа на глубине 70–120 см, происходит консервация органического вещества, и процесс разложения протекает медленнее. В ТЗ 8 (517 м) по изменению отношения C/N отмечаются иные гидрологические условия. Большая обводненность характерна для верхнего слоя торфа 0–20 см. Далее отмечается резкое снижение показателя с 31 до 24 на глубине 20–50 см с последующим вновь некоторым повышением до 29 в слое 70–90 см, и затем наблюдается постепенное понижение показателя до 23 в слое 110–120 см. В ТЗ 6 также, как в ТЗ 8, отмечается наибольшая обводненность торфа с поверхности и до глубины 80 см. Значительное понижение отношения отмечается в слое торфа 100–110 (C/N = 24) и 160–170 см (C/N = 21). Торфяной слой на глубине 200–210 см отличается повышением обводненности, значения отношения повысились до 27. Далее, с глубины 240 см отмечается постепенное понижение показателя до 19 % на глубине 290–300 см. Таким образом, отношение C/N демонстрирует разные гидрологические условия в изучаемых ТЗ: чередование более и менее обводненных условий в пределах всей залежи.

Выводы. Итак, на основании данных элементного состава можно констатировать, что торфяные залежи характеризуются неодинаковым составом торфа. Основные различия проявляются по содержанию C, H, O: торф в залежи на склоне восточной экспозиции отличается меньшим содержанием углерода и водорода, но большим – кислорода. Общим в элементном составе является низкое содержание азота в составе органического вещества (от 1,1 до 2,7 мас. %). Наиболее неоднородный профиль ТЗ по элементному составу отмечается на пологом склоне западной экспозиции. Отношение C/N демонстрирует чередование более высоких темпов разложения ОВ (потерю углерода) в сухие периоды (при снижении уровня болотных вод) и более низких, которые соответствуют периодам с высокой обводнённостью, когда происходит консервация ОВ и процесс разложения протекает медленнее.

Литература

1. Беляева С. А., Мамонтов В. Г., Поляков А. М. Элементный состав гумусовых кислот чернозема типичного целинного // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2025. Вып. 125. С. 274–292. DOI: 10.19047/0136–1694–2025–125–274–292.

2. Дудкин Д. В., Заров Е. А., Змановская А. С. Влияние ботанического состава и степени разложения торфа на состав гуминовых кислот, полученных механохимическим способом // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 109–116.

3. Куликова Н. А., Перминва И. В. Сравнительная характеристика элементного состава водорастворимых гуминовых веществ, гуминовых и фульвокислот дерново-подзолистых почв // Вестник Московского университета. Сер. 17, Почвоведение. 2010. № 4. С. 16–19.

4. Линкевич Е. В. Органическое вещество торфа и оценка его биодоступности // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. Т. 66, № 3 (393). С. 278–281.

5. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990. 325 с.

6. Сравнительная характеристика элементного состава гуминовых и гиматомелановых кислот торфа Среднего Приобья / О. В. Рыбачук, Ю. М. Дерябина, М. П. Сартаков, И. Д. Комиссаров // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 1 (38). С. 36 – 40.

7. Рычкова И. В., Самофалова И. А. Особенности торфяных залежей горных болот на западном макросклоне Среднего Урала (хребет Басеги) // Почвы и окружающая среда. 2025. Т. 8, № 4. e314. DOI: 10.31251/pos.v8i4.314

8. Элементный состав органического вещества торфа как показатель трофического состояния болотных экосистем юга Байкальского региона / Е. Н. Тарасова, Е. В. Безрукова, Е. А. Мамонтова, А. А. Мамонтов // Доклады академии наук. 2016. Т. 470, № 1. С. 91–94.

9. Belyea L. R., Malmer N. Carbon sequestration in peatland: patterns and mechanisms of response to climate change // Global Change Biol. 2004. V.10.P. 1043–1052.

10. Soil organic matter composition and transformation in gelic histosols of coastal continental Antarctica / L. Beyer, C. Sorge, H. P. Blume, H. R. Schulten // Soil Biology and Biochemistry. 1995. Vol. 27, N 10. P. 1279–1288.

11. Davidson E. A., Janssens I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change // Nature. 2006. Vol. 440 (7081). P. 165–173.

12. Rice J. A., MacCarthy P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances // Org. Geochem. 1991. Vol. 17, N 5. P. 635–648. https://doi.org/10.1016/0146–6380(91)90006–6.

13. Vasander H., Kettunen A. Carbon in boreal peat lands // Boreal Peat Land Ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006. P. 165–194.

ELEMENTAL COMPOSITION OF PEAT FROM THE MOUNTAIN BOGS OF THE BASEGI RIDGE

I. V. Rychkova, I. A. Samofalova
Perm State Agro-Technological University, Perm
Rychkova-IV@mail.ru, samofalovairaida@mail.ru

This article presents the results of a study of the elemental composition of organic matter in peat from mountain bogs in the Basegi Range (Middle Urals). Peat deposits located on the western and eastern slopes of the range were studied under different hypsometric and geomorphological conditions. Differences in elemental composition were identified depending on slope aspect: peat on the western slope has higher carbon and hydrogen contents, while peat on the eastern slope has higher oxygen contents. The greatest heterogeneity in elemental composition was observed in the peat deposit on the gentle western slope. Variations in the C/N ratio reflect the alternation of different hydrological conditions during peat deposit formation, which affects the rate of peat decomposition. Thus, topography, slope aspect, and the hydrological regime of the bogs influence the formation of the elemental composition and the stability of organic matter in peat in mountain bogs.

УДК 551.4

СТРОЕНИЕ, ВОЗРАСТ, УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ПЕРВОЙ НАДПОЙМЕННОЙ ТЕРРАСЫ БАССЕЙНА Р. БРЯНКИ (СЕЛЕНГИНСКОЕ СРЕДНЕГОРЬЕ)

М. В. Смирнов, Ю. В. Рыжов

Институт земной коры СО РАН, Иркутск
Иркутский государственный университет, Иркутск
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
smv.38@mail.ru, ryzhovyurij@yandex.ru

Введение. Проблема типологии, морфологии, генезиса и классификации речных террас остаётся одной из актуальных задач флювиальной геоморфологии [1; 3; 6; 10]. В современных речных долинах на одних и тех же относительных высотах нередко залегают аллювиальные отложения разного возраста, а одновозрастные отложения могут иметь различное гипсометрическое положение. В то же время часто отмечается несколько высотных уровней одной террасы, имеющей одновозрастной аллювий [4; 11]. Особую роль в изучении отклика речных систем на природные изменения играют поймы и низкие террасы, наиболее чутко реагирующие на трансформации в пределах водосборных бассейнов [15; 16]. Отложения первой надпойменной террасы отличаются наибольшей сохранностью, что обусловливает их детальное изучение и датирование для выявления этапов осадконакопления и педогенеза [11; 12]. Цель работы – выявление морфологических типов первой надпойменной террасы, реконструкция хронологии аккумуляции отложений и анализ причин их различий.

Район, объекты и методы исследования. Район расположен в бассейне р. Селенги. Река Брянка является левым притоком р. Уды. Длина водотока 128 км, площадь водосбора 4470 км², уклон русла 3,8 м/км [5], глубина эрозионного расчленения 300–400 м. Изучены четыре разреза первой надпойменной террасы (разрезы СБ 1, СБ 5, СБ 6 на р. Брянке и разрез ИЛ 3 на р. Илька). Выполнен отбор проб на физико-химический состав и радиоуглеродное датирование. Определение абсолютного возраста погребённых почв выполнено в Санкт-Петербургском государственном университете и Институте геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН по углероду гуминовых кислот погребённых почв и древесного угля. Определение остаточной активности углерода выполнено на приборе QUANTULUS-1220. Калибровка радиоуглеродных дат проведена с помощью программы Calib Rev 8.1.0 по калибровочной кривой IntCal20 [13].

Результаты. На основе особенностей строения, состава, возраста отложений и высоты над меженным уровнем выделяются два морфологических уровня первой надпойменной террасы (рис.).

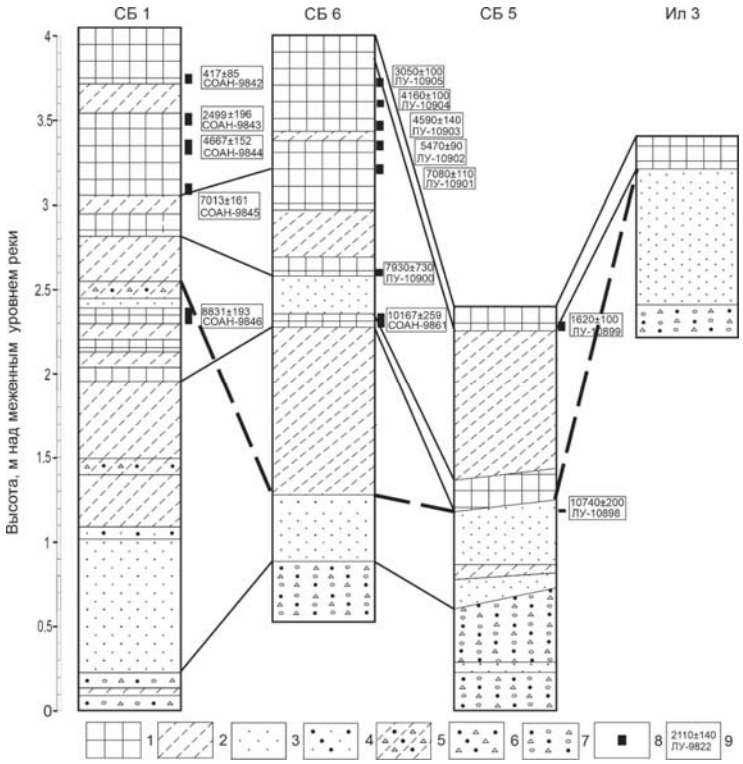


Рис. Корреляция разрезов первой надпойменной террасы в бассейне р. Брянки [9]. Условные знаки: 1 – почва; 2 – супесь; 3 – песок мелкозернистый; 4 – песок разнозернистый; 5 – супесь с дресвой и гравием; 6 – супесь с включением разнозернистого песка и дресвы, щебнем, гравием, галькой; 7 – песок разнозернистый с дресвой и гравием; 8 – интервалы отбора проб на радиоуглеродное датирование; 9 – календарный возраст и лабораторный номер

Первый морфологический уровень (разрезы СБ 1 и СБ 6) характеризуется высотой 4,0–4,05 м, мощной почвенно-седиментационной толщей покровных отложений (1,5–2,7 м) с мощной погребённой почвой среднего и позднего голоцена и двумя-тремя маломощными почвами раннего голоцена. Накопление руслового и пойменного аллювия, покровных отложений происходило без выраженных следов перерывов в осадконакоплении. В разрезе СБ 1 выявлено три этапа раннеголоценового педогенеза (древнее >8,7 тыс. кал. л. н.), три средне- и позднеголоценовые почвы возрастом ~7,7–7,3; 7,1–2; 0,6–0 тыс. кал. л. н. [9; 14]. В разрезе СБ 6 этапы активного почвообразования датируются ~10,4–9,85; 8,1–7,8 и последние 7,4 тыс. кал. л. н. Для террас первого морфологического типа характерен продолжительный средне- и позднеголоценовый этап педогенеза после завершения аккумуляции аллювия.

Второй морфологический уровень (разрезы СБ 5, ИЛ 3) имеет высоту 2,4–3,4 м. Разрезы характеризуются большими перерывами в осадконакоплении, связанными со смывом и размывом аллювия и покровных отложений. В подошве разреза СБ 5 русловой аллювий с размывом перекрыт пойменными песками и супесями. Выше по разрезу с перерывом залегают покровные отложения (эоловые пылеватые супеси, погребённая и современная почва). После формирования раннеголоценовой почвы выявляется перерыв в аккумуляции, связанный со смывом и размывом отложений во время высоких паводков в среднем и позднем голоцене. В разрезе ИЛ 3 на галечниках русловой фации с размывом залегают мелкозернистые пески пойменной фации, перекрытые позднеголоценовой почвой.

Обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о неодновременном (асинхронном) врезании реки на разных участках долины при выработке её продольного профиля. Наиболее ранний переход поймы в террасу в разрезе СБ 6 вероятно произошел в начале голоцена (~11,7–11,4 тыс. кал. л. н.) в месте слияния с крупным притоком (р. Кокытей), что вызвало увеличение водности и регрессивную эрозию. Этим можно объяснить разный возраст кровли аллювия трех разрезов первой надпойменной террасы р. Брянки. Более поздние даты в разрезах СБ 1 (~8,6–8,3 тыс. кал. л. н.) и СБ 5 (~10,7–8,3 тыс. кал. л. н.) отражают точечный характер врезания [7]. В Забайкалье выделено два раннеголоценовых этапа высокой водности [14]: первый (10,7–9,6 тыс. кал. л. н.) связан с потеплением и увеличением осадков [7] и стока в оз. Байкал; второй (9–8 тыс. кал. л. н.) – с аномально высокими паводками, вызвавшими врезание русел и формирование уступов террас высотой 1–3 м [8; 14]. Перерывы в аккумуляции и размыв отложений первой террасы в раннем голоцене известны и в других разрезах бассейна р. Селенги [7–9; 14]. В среднем – позднем голоцене местами возобновлялось накопление аллювия, вероятно, на террасах второго морфологического уровня (например, поселение Алтан на р. Мензе) [2]. Также выделяется этап высокой водности 4,6–3,4 тыс. кал. л. н. [7; 8].

Наличие двух уровней террасы обусловлено геоморфологической позицией. Разрезы СБ 1 и СБ 6 примыкают к борту долины; после перехода поймы в террасу аллювий был перекрыт мощными (1,5–2,7 м) покровными отложениями, что обеспечило высоту >4 м и отсутствие затопления в среднем–позднем голоцене. Разрез СБ 5 находится на левом берегу в зоне расширения поймы, здесь нет мощных покровных осадков, высота ниже, а высокие паводки вызывали смыв аллювия. Разрез ИЛ 3 в широкой долине р. Ильки сложен лишь позднеголоценовой почвой и аллювием; вероятно, кровля пойменного аллювия была частично смыта на границе среднего и позднего голоцена.

Таким образом, два морфологических уровня первой надпойменной террасы определяются положением в долине, мощностью покровных отложений и эрозионной активностью реки. Террасы первого уровня (у склонов) перекрыты покровными осадками, имеют высоту >4 м, в их разрезах отсутствуют речные осадки моложе 8 тыс. кал. л. н., и развиты мощные почвы последних 7,4 тыс. лет. Террасы второго уровня (в широких долинах, в поясе меандрирования)

лишены склоновых покровных отложений, их низкие высоты способствуют затоплению и размыву.

Заключение. В бассейне р. Брянки (Селенгинское среднегорье) первая надпойменная терраса имеет два морфологических уровня, различающихся высотой (2,4–4,05 м), строением, составом и возрастом отложений, этапами аккумуляции и педогенеза. Первый уровень (высота >4 м) характеризуется непрерывным накоплением руслового и пойменного аллювия в конце плейстоцена – раннем голоцене, перекрытием мощными покровными отложениями (до 2,7 м) и длительным средне-позднеголоценовым педогенезом (до 7,4 тыс. лет) без последующих эрозионных перерывов. Второй уровень (высота 2,4–3,4 м) отличается эрозионными контактами, перерывами в осадконакоплении, маломощными покровными отложениями (0–1,2 м) и затоплением во время высоких паводков в среднем и позднем голоцене. Переход поймы в первую надпойменную террасу произошёл в раннем голоцене (11,7–8,2 тыс. кал. л. н.) и связан с врезанием рек во время высоких и аномально высоких паводков. Врезание происходило асинхронно на разных участках долины, что соответствует модели точечного речного врезания. Причины формирования двух уровней – геоморфологическое положение, мощность и генезис покровных отложений, эрозионная активность реки.

Исследование выполнено в рамках тем государственных заданий Института земной коры СО РАН (проект № 1025022500090-2-1.5.1-1.5.1), Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (проект № 1023032700074-1-1.5.5-1.5.5) (полевые работы, анализ литературных и картографических материалов, подготовка рукописи).

Литература

1. Гудымович С. С. Речные террасы (некоторые замечания к морфологии, генезису и классификации) // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308, № 5. С. 57–61

2. Константинов М. В. Каменный век восточного региона Байкальской Азии. Улан-Удэ, Чита, 1994. 180 с.

3. Лютцау С. В. Особенности террасовых рядов на речных долинах Сибири и Дальнего Востока // Известия РАН. Сер. географическая. 1969. № 1. С. 99–106.

4. Осадконакопление и формирование террас в речных долинах центра Русской равнины во второй половине позднего плейстоцена / А. В. Панин, Е. Ю. Матлахова, Ю. Р. Беляев, Бульярт Ж-П, Л. Ф. Дубис, А. Мюррей, О. М. Пахомова, Е. В. Селезнева, В. В. Филиппов // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2011. № 71. С. 47–74.

5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Ангаро-Енисейский район. Вып. 3. Бассейн оз. Байкал (Забайкалье) / отв. ред. М. Г. Васьковский. Л. : Гидрометеоздат, 1973. 400 с.

6. Розанов Л. Л. Типология речных террас // Геоморфология. 1980. № 2. С. 94–104.

7. Этапы осадконакопления, почвообразования и высокой водности рек по данным изучения и датирования отложений пойм и террас в бассейне р. Селенги / Ю. В. Рыжов, В. А. Голубцов, М. Ю. Опекунова, С. А. Макаров, В. Л. Коломиец, М. В. Смирнов // Экологические проблемы бассейна озера Байкал : сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, 28 авг. – 1 сент. 2022 г., Улан Удэ. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2022. С. 92–96.

8. Смирнов М. В., Рыжов Ю. В. Стратиграфия и хронология позднеледниковых и голоценовых отложений террас реки Брянки (республика Бурятия) // Строение литосферы и геодинамика : материалы XXXI Всерос. молодеж. конф. Иркутск, 2025. С. 114–116.

9. Морфологические уровни первой надпойменной террасы бассейна р. Брянки (Селенгинское среднегорье) / М. В. Смирнов, Ю. В. Рыжов, М. Ю. Опекунова, В. А. Голубцов // Известия РАН. Серия географическая. 2025. Т. 89, № 6. С. 998–1015. DOI: 10.7868/s2658697525060095.

10. Шульц С. С. Опыт генетической классификации речных террас // Известия Всесоюзного географического общества. 1940. Т. 92, № 6. С. 739–749.

11. Ямских А. Ф. Осадконакопление и террасообразование в речных долинах Южной Сибири. Красноярск : КГПИ, 1993. 226 с.

12. Charlton R. Fundamentals of Fluvial Geomorphology. London: Routledge, 2008. 234 p. DOI: 10.1111/J. 1475–4762.2009.883_5.X

13. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 calkBP) / P. J. Reimer [et al.] // Radiocarbon. 2020. Vol. 62., Iss. 4. P. 725–757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41

14. Structure, age and stages of sediments formation of the first river terrace in the Selenga drainage basin / Yu. V. Ryzhov, M. V. Smirnov, V. A. Golubtsov, M. Yu Opekunova., S. Demberel // Geography and Natural Resources. 2023. Vol. 44. Suppl. 1. P. S99–S108. DOI: 10.1134/S1875372823050153

15. Vandenberghe J., Cordier S., Bridgland D. Extrinsic and intrinsic forcing of fluvial development: understanding natural and anthropogenic influences // Proceedings of the Geological Association. 2010. Vol. 121. P. 107–112. DOI: 10.1016/J. PGEOLA. 2010.05.002

16. Wolf D., Faust D. Western Mediterranean environmental changes: Evidences from fluvial archives // Quaternary Science Reviews. 2015. Vol. 122. P. 30–50. DOI: 10. 1016/j. quascirev. 2015.04.016

STRUCTURE, AGE, AND FORMATION CONDITIONS OF MORPHOLOGICAL LEVELS OF THE FIRST ABOVE-FLOODPLAIN TERRACE IN THE BRYANKA RIVER BASIN (SELENGA MID-MOUNTAINS)

M. V. Smirnov, Yu. V. Ryzhov
Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk
Irkutsk State University, Irkutsk
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk
smv.38@mail.ru, ryzhovyurij@yandex.ru

The paper presents a comprehensive study of four sections of the first river terrace in the Bryanka River basin, a left tributary of the Uda River in the Selenga Highlands (Western Transbaikalia). The research included layer-by-layer stratigraphic description, granulometric analysis, radiocarbon dating (^{14}C, calibrated with IntCal20), geomorphological mapping using FABDEM and UAV surveys. Four sections (SB 1, SB 5, SB 6 on the Bryanka River and IL 3 on the Ilka River) were studied. They differ in height, structure, composition, and age of alluvial and cover deposits. Based on these differences, two morphological levels of the first terrace were identified. Type 1 (sections SB 1 and SB 6, height >4 m) is characterized by continuous accumulation of channel and floodplain alluvium in the Late Pleistocene – Early Holocene, thick aeolian-deluvial cover deposits (1.5–2.7 m), and several Holocene soil horizons (Early, Middle, Late Holocene). The floodplain-to-terrace transition occurred at ~11.7–8.3 cal kyr BP. After that, alluvium accumulation ceased, and pedogenesis continued for the last 7.4 cal kyr BP with no erosion breaks. Type 2 (sections SB 5 and IL 3, height 2.4–3.4 m) shows erosion contacts, long-term accumulation breaks, thin or absent cover deposits (0–1.2 m), and only Late Holocene soils. Accumulation of alluvium was interrupted by erosion during high floods in the Middle and Late Holocene. Incision was asynchronous in different parts of the valley (earliest at the confluence with a large tributary – section SB 6, later upstream), which agrees with the punctuated river incision model. Two Early Holocene high-discharge phases (10.7–9.6 and 9–8 cal kyr BP) triggered river incision and terrace formation. The reasons for two morphological levels are: geomorphic position (near valley slopes vs. central floodplain meander belt), thickness and genesis of cover deposits (slope-derived deluvial-proluvial vs. aeolian), and lateral erosion activity during high floods. Type 2 terraces correspond to the fillstrath terrace concept. The results correlate well with published data from the Selenga, Yenisei, and Russian Plain river basins.

УДК 631.48

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОЗЁРНЫХ КОТЛОВИН В СТЕПНОМ БИОМЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е. Н. Смоленцева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск
parabraunerde1961@gmail.com

Территория степного биома Западной Сибири (ЗС) характеризуется высокой степенью заозёренности и большим разнообразием озер по происхождению, гидрогеологическим и гидрохимическим параметрам. Многие из этих озер, а соответственно и озерные котловины, имеют признаки климатообусловленной динамики уровня воды и соответствующие изменения в прилегающих ландшафтах. Так, площадь палеоозёр, существовавших в самую влажную эпоху голоцена, в 11,5 раз больше площади современных озер [1].

Выявлены общие закономерности и специфика педогенеза в озерных котловинах лесостепной и степной зон Западно-Сибирской почвенной провинции. Так, компонентный состав почвенного покрова (ПП) образован широким спектром интразональных почв. Они относятся к трем стволам почвообразования: постлитогенному, синлитогенному и первичному. Компоненты ПП изученных озерных котловин входят в состав 7-ми отделов. Это щелочно-глинисто-дифференцированные, галоморфные, абраземы, гидрометаморфические, органо-акумулятивные, аллювиальные и слаборазвитые почвы [2].

Разнообразие типов и подтипов почв в каждой котловине зависит от её приуроченности к природно-климатической зоне-подзоне. Так в южных степных котловинах (оз. Б. Баган, оз. Кучук) в современный период слабее проявляются процессы трансформации и аккумуляции органического вещества, о чем свидетельствует отсутствие здесь дневных почв с темногумусовым и перегнойным горизонтами, в то время как в лесостепной зоне (оз. Иткуль, оз. Саргуль) они занимают значительную часть ПП. Процессы галогенеза наоборот, в степных котловинах интенсивнее, что проявляется в формировании здесь солончаков и засоленных почв, доля которых в составе ПП выше, чем в лесостепи.

Установлено, что на компонентный состав и структуру почвенного покрова почти во всех котловинах оказывает влияние голоценовый морфолитогенез. Для озерных котловин выявлены голоценовые морфолитокомплексы и формирующие их экзогенные процессы. В фазу максимальной трансгрессии озёр по периферии некоторых котловин сформировался абразионный уступ. В фазу постепенной их регрессии, образовались песчаные озерные валы, с серией погребенных гумусовых горизонтов, которые свидетельствуют о сложной динамике уровня воды в озере в этот период [5]. Мы диагностировали также признаки эоловой динамики: образование дефляционных и эолово-аккумулятивных форм рельефа. Так, например, в палеокотловине оз. Большой Баган имеются дефляционные котловины, по периферии которых аккумулируется перевеянный песчаный материал озерный валов. Эоловые формы рельефа имеют вид навеянных

бугров или кротких линейно-вытянутых гряд, параллельных границе дефляционной котловины. Эоловая динамика приходится на регрессивную фазу озерного ритма, которая, вероятнее всего, соответствует аридным климатическим условиям [5]. Образование дефляционных котловин совпадает с фазой максимальной регрессии озера так как разрушенными дефляцией являются самые молодые валы. Продукты разрушения песчаных озерных валов аккумулировались в виде фитогенных бугров или небольших гряд по периферии дефляционной котловины или откладывались поверх озерных осадков на средних по возрасту валах.

Уже на субаквальной стадии морфолитогенеза в прибрежной зоне озера закладывается пространственное варьирование гранулометрического состава почвообразующих пород. Дно обсохшей части озерной котловины (с геоморфологической точки зрения – озерная терраса) представляет собой плоскую субгоризонтальную поверхность, сложенную засоленными карбонатными тяжелыми суглинками и глинами. На этой поверхности формируются озерные валы, сложенные пляжевыми песками, которые становятся специфической почвообразующей литоматрицей для постаквального почвообразования. Такая литоматрица характерна именно для озерных котловин и не типична для окружающих территорий. Возникают участки котловин с резкой дифференциацией по гранулометрическому составу (пески – тяжелые суглинки и глины).

В регрессивную фазу озерного ритма обсохшие участки становятся первой озерной террасой. И на этих постаквальных территориях начинается субаэральная стадия морфолитогенеза. В эту стадию под влиянием экзогенных процессов (водная эрозия и дефляция) береговые валы разрушаются и песчаные наносы частично переоткладываются. И субстрат террасы превращается в пространственно неоднородную слоистую толщу, которую образуют засолённые озёрные отложения донных фаций, частично перекрытые песчаными наносами береговых фаций, мощность которых варьирует от 1 до 150 см.

Пространственное варьирование свойств седиментов вызывает резкую дифференциацию почв по гранулометрическому составу (пески и тяжелые суглинки/глины) и физико-химическим свойствам. Так, например, в котловине оз. Б. Баган псаммоземы гумусовые, формирующиеся на озерных валах, и представляющие собой поверхностные почвы почвенно-седиментационных последовательностей (ППС), не засолены, бескарбонатны, и не имеют признаков гидрогенной трансформации. Они пространственно сопряжены с засоленными почвами: солонцами светлыми и светлогумусовыми и пелозёмами. Во всех изученных котловинах широко представлено первичное почвообразование, что обусловлено появлением молодых постаквальных участков при высыхании озер.

Компонентный состав почвенного покрова и особенности педогенеза зависят от возраста субаэральной стадии эволюции постаквальной поверхности [4]. Так участки озёрных котловин, недавно освободившихся из-под воды вследствие высыхания озера, являются самыми молодыми. Вследствие начальной стадии развития процессов почвообразования, свойства почв здесь в значительной степени зависят от особенностей минерального субстрата: прежде всего,

гранулометрического состава и физико-химических свойств. На таких поверхностях формируются почвы первичного ствола почвообразования, относящиеся к отделу слаборазвитых почв: солончаки квазиглеевые первичные, пелозёмы гумусовые, псаммозёмы гумусовые и слоисто-эоловые гумусовые почвы [3], а также галоморфные почвы. Помимо литогенных особенностей субстрата, отвечающих за варьирование гранулометрического состава и морфологических свойств, на педогенез оказывают влияние грунтовые воды. Они обусловливают засоление и оглеение почв. В результате образуются засолённые и глееватые подтипы слаборазвитых почв, что увеличивает число компонентов в составе почвенного покрова.

На более позднем этапе субаэральной стадии развития постаквальных поверхностей в озерных котловинах происходит образование фитоценозов с относительно сомкнутым покровом, стабилизация субстратов и поверхности, ослабевают или прекращаются экзогенные процессы, развивается педогенез. Для этого этапа процессы гидрогенной трансформации иногда ослабевают или прекращаются и становятся реликтовыми. Почвенный покров образуют органоаккумулятивные, гидрометаморфические и щелочно-глинисто-дифференцированные почвы [4]. Таким образом, почвенный покров котловин характеризуется полихронностью отдельных его компонентов, что связано со стадийностью озерного ритма и обусловлено флуктуациями климатического увлажнения [5].

Изучены пространственные особенности галоморфных почв. Установлены основные элементарные почвенные ареалы (ЭПА) галоморфных почв и почвенных комбинаций (ПК), которые они образуют. Так, геометрия ЭПА и ПК напрямую зависит от механизма их образования. Солончаки, возникающие в результате регрессии озёр, образуют два типа структур: кольцевые и массивные ЭПА. Массивные ЭПА и ПК возникают на месте полностью высохших озер. ПП здесь формируют солончаки сульфидные, квазиглеевые или их сочетания между собой. Кольцевые ЭПА солончаков квазиглеевых образуют микропояса, обрамляющие небольшие озёра. Например, в палеокотловине оз. Б. Баган встречаются оба типа структур (рис., А).

Массивные ЭПА и ПК галоморфных почв характерны для фазы глубокой регрессии озер, поскольку образуются при полном высыхании водоемов. Так как многие озера на этой территории являются солоноватыми, или солеными, то субстраты постаквальных поверхностей в различной степени засолены и на них формируются засоленные и/или галоморфные почвы. Поэтому массивные ЭПА и ПК галоморфных почв имеют индикаторное значение для диагностики регрессивной фазы озерного ритма и, соответственно, аридных климатических условий.

Находят свое отражение в структуре ПП и эоловые процессы. Так в результате эоловой аккумуляции образуются фитогенные бугры, которые были обнаружены в некоторых изученных котловинах (оз. Юдинский плес, оз. Б. Баган). В результате образуются ЭПА слоисто-эоловых гумусовых почв, имеющие изоморфную округлую форму. При большом количестве этих бугров они сливаются в большие поля, образуя массивные ареалы сложной формы (рис.,

Б). Распространены также ЭПА и ПК линейной формы, что связано с наличием линейно вытянутых вдоль береговой линии форм рельефа. Так, псаммоземы гумусовые, приуроченные к береговым валам, характеризуются полосчатой и лентовидной формой ЭПА.



Рис. Формы ЭПА и ПК некоторых почв озёрных котловин: А – кольцевые (1) и массивные (2) ЭПА солончаков квазиглеевых (оз. Б. Баган); Б – ЭПА и ПК почв на фитогенных буграх: 1 – слоисто-эоловые гумусовые почвы, 2 – слоисто-эолово-гумусовые почвы в комбинации с пелозёмом гумусовым, 3 – солончаки квазиглеевые. (оз. Юдинский плёс)

В изученных котловинах отмечены также эрозионно-денудационные процессы, которые особенно интенсивно проявляются в степных условиях. Здесь широко развита как линейная, так и плоскостная эрозия, что приводит к появлению в компонентном составе ПП абразёмов и стратифицированных подтипов почв. Абрадированные подтипы не образуются, так как при малой мощности поверхностных горизонтов дневных почв, даже небольшая денудация приводит к их полному уничтожению. Плоскостной смыв и линейная эрозия начинают проявляться при регрессии озер. В результате абразионного педогенеза и последующей галогидрогенной трансформации геометрия ЭПА галоморфных почв и образуемых ими ПК существенно меняется. Преобладающими здесь являются линейные типы структур, перпендикулярные береговой линии. Это денудационные ПК, в которых одним их компонентов являются галомофные почвы, чаще всего солончаки квазиглеевые или солончаки сульфидные.

Таким образом, компонентый состав и структура ПП озерных котловин имеет свою специфику по сравнению с прилегающими территориями. Это связано с гетерохронностью поверхности обсохшей части котловин, длительностью почвообразования, литоразнообразием почвообразующих пород, ландшафтно-климатическими условиями и активностью голоценового морфолитогенеза внутри котловины.

Работа выполнена по государственному заданию ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН проект № 126032419121-2.

Литература

1. Картографирование и мониторинг процессов аридизации на юге Западно-Сибирской равнины / Н. В. Глушкова, Д. А. Чупина, Д. В. Пчельников, И. И. Болдырев, Н. А. Селятицкая // География и природные ресурсы. 2016. № 1. С. 133–140.

2. Полевой определитель почв России. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. 2008. 182 с.

3. Смоленцева Е. Н. Первичное почвообразование в степном биоме Западной Сибири // Географическая наука, туризм и образование: современные проблемы и перспективы развития : материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. 2020. С. 23–28.

4. Смоленцева Е. Н. Эволюция почвенного покрова постаквальных территорий в степном биоме Западной Сибири // Пути эволюционной географии : материалы Всерос. научн. конф., посвящ. памяти проф. А. А. Величко. 2016. С. 569–573.

5. Gavrilov D. A., Smolentseva E. N., Saprykin O. I. Soils of lake depressions in the steppe biome of West Siberia as indicators of Holocene climate rhythms // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 862. 012005.

FEATURES OF THE SOIL COVER OF LAKE BASINS IN THE STEPPE BIOME OF WESTERN SIBERIA

E. N. Smolentseva
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibsrsk
parabraunerde1961@gmail.com

General patterns and specific features of pedogenesis in lake basins of the Western Siberian steppe biome have been identified. The component composition of the soil cover (SC) is formed by a wide range of intrazonal soils. These soils belong to three orders and seven divisions. The intrazonality of SC components is combined with their polychronicity and specificity depending on their affiliation with a climatic zone. If the area of the lake decreases, then primary poorly developed soils (Arenosols, Regosols) and Solonchaks appear on new areas of land in the lake basins. The influence of Holocene morpholithogenesis on the component composition and structure of SC is noted in all basins. Some features of elementary soil areas (ESA) and soil combinations in the lake basins are demonstrated. Massive ESA and soil combinations of halomorphic soils are indicative of the regressive phase of the lake rhythm and arid climatic conditions.

УДК 631.481

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ПОЧВАХ УЛЮНХАНСКОЙ ВПАДИНЫ (БАРГУЗИНСКАЯ КОТЛОВИНА, БУРЯТИЯ)

В. Л. Убугунов

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ
ubugunov@yandex.ru

На севере Баргузинской котловины (Республика Бурятия, Россия), в Улюнханской впадине, в районе разгрузки Кучегэрских гидротермальных источников нами были обнаружены специфические морфологические образования в виде темных, почти черных, вязко-пластичных, сильно твердеющих при высыхании слоев и морфонов с резко контрастными по отношению к остальному почвенному профилю свойствами. По первичным впечатлениям эти структурные элементы выглядели как пропитанная углеводородами (нефтебитумами) минеральная часть почвы, поэтому по предложению Н. Б. Хитрова, было решено назвать их импрегнированными, т. е. «насыщенными», «пропитанными» [3]. В последующих исследованиях [1], полагая, что в основе генезиса черных вязко-пластичных элементов лежит насыщение органическим веществом эндогенной природы, горизонтам был присвоен специальный индекс IMP и уточнены названия горизонтов: органо-импрегнированные песчаные или песчано-пылеватые. При этом отмечалось, что гор. IMP и морфологические элементы, имеющие признаки импрегнации (imp), отличаются заметной связностью и пластичностью песчаного материала по сравнению с остальной песчаной массой.

По расширения зоны исследований нами были получены данные о том, что импрегнация имеет место и в других участках Улюнханской впадины, в т. ч. на значительном удалении от Кучегэрских гидротерм. Кроме песчаных и песчано-пылеватых импрегнированных морфонов были обнаружены более зрелые вариации суглинистого и глинистого состава. Накопленные за последние годы сведения позволили более предметно оценить процесс импрегнации, охарактеризовать его начальные проявления и зрелые варианты с позиций морфологических, физических, физико-химических, геохимических и минералогических свойств, сделать некоторые уточнения в первичных гипотезах генезиса, что и стало целью настоящего сообщения.

Импрегнация, по нашему представлению, – это современный процесс, обусловленный влиянием эндогенно восходящих геофлюидов. Начальный этап импрегнации отмечен на одной из небольших песчаных пустошей, формирующихся в местах недавнего выдавливания на поверхность подстилающих песчаных отложений (площадка РФ-2–15, рис. 1, *a*). В исходно однородной толще при выходе геофлюидов появляются признаки химического взаимодействия почвообразующей породы с эндогенными газами и минерализованными растворами в виде охристых и осветленных пятен (рис. 1, *b*). В нижней части профиля в колонке бурения на глубине около 30 см в форме темно-серых пятен проявляются участки точечной импрегнации. На горизонтальном срезе (дно разреза) темные пятна имеют округлую форму диаметром 1–2 см.

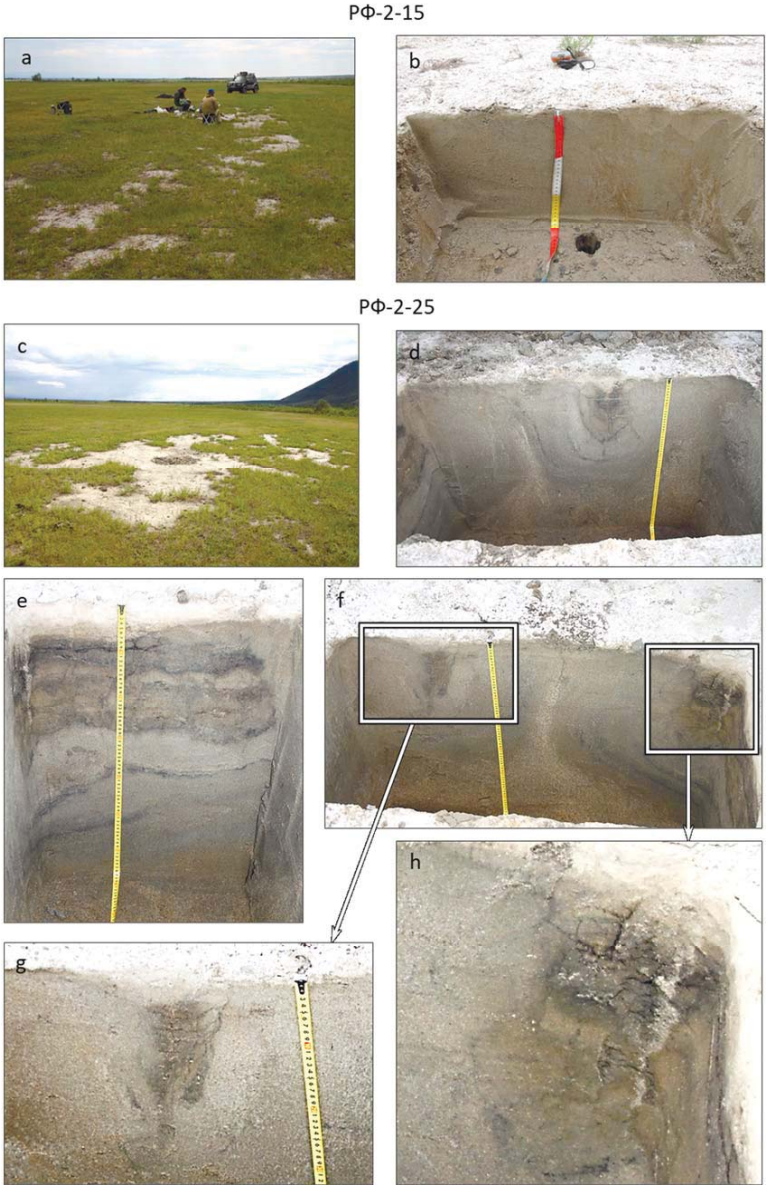


Рис. 1. Первичный этап импрегнации на песчаных пустошах аллювиальной равнины, прилегающей к Кучегэрскому болотному массиву: внешний вид песчаной пустоши (*a*) и профиля (*b*) разр. РФ-15; внешний вид места закладки разр. РФ-25 (c), инициальная импрегнация на южной (*d*), восточной (*e*) и северной (*f*) стенках разреза; укрупненный вид клиновидного (*g*) и округлого (*f*) импрегнированных морфонов

На другом песчаном диапире (площадка РФ-2–25, рис. 1, *c*) признаки первичной импрегнации проявляются ближе к поверхности в виде концентрических колец с темными прослойками, уплотняющимися к центру (рис. 1, *d*). Ближе к ядру кольца разорваны радиально расходящимися трещинками, как у спила дерева. Продольный срез импрегнированного морфона, залегающего параллельно вышеупомянутому (рис. 1, *e*), демонстрирует горизонтальное положение инициально насыщенного тела в форме слегка буроватого древесного ствола. В области наибольшей импрегнации гранулометрический состав утончается, появляются мелкие (рис. 1, *g*), а затем более крупные радиально расходящиеся трещины усыхания (рис. 1, *h*).

На последующих этапах эволюции импрегнированные тела образуют более выраженные морфоны с характерными морфологическими, физическими и физико-химическими признаками, резко отличными от общей массы почвы (рис. 2, табл. 1). Гранулометрический состав морфона IMPs утяжеляется до легкой глины с существенным вкладом илистой фракции. Кратно увеличивается содержание гумуса, обменных катионов и, особенно, сухого остатка (табл. 2). Превышения по последнему показателю достигают 24–57 раз по сравнению с неимпрегнированной частью профиля. Криотурбированный вихреватый слой IMP (26/31–37/46 см) также имеет повышенные значения показателей, но выражены они значительно слабее. Следы импрегнации в виде редких темных пятен прослеживаются и в нижней, периодически обводняемой части профиля (гор. Qimp). Но похоже, что наиболее интенсивно насыщение происходит в зоне аэрации.

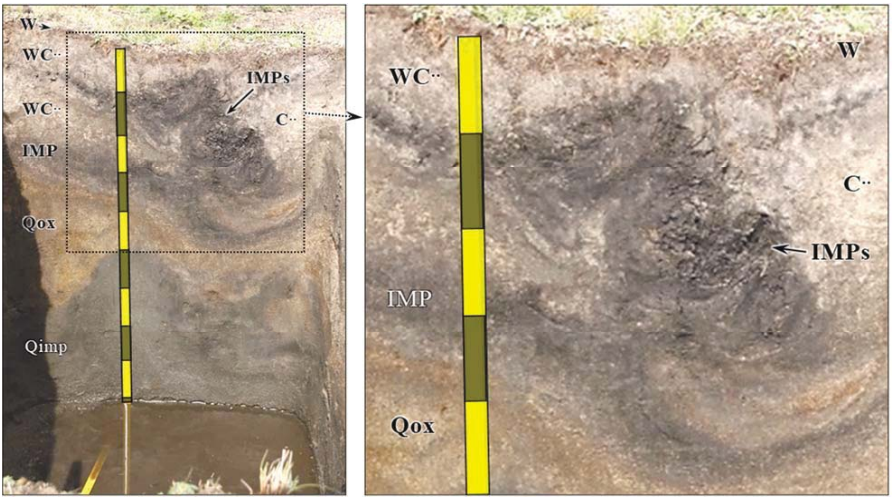


Рис. Структурная дифференциация импрегнированного морфона (IMPs) в профиле разр. ТЛК-2(б)-17

Стадийность импрегнации иллюстрируется микроморфологическими исследованиями на участке образования прибрежных валов (траншея КД-3), примыкающих к Кучегэрскому болотному массиву [2]. На начальных этапах в исходной песчаной породе происходит накопление глинисто-органической плазмы, появляются глинистые и органо-глинистые пленки, кутаны на зернах минералов, локальные тонкопылеватые инфиллинги с хлопьевидно-сгустковыми скоплениями глинисто-органической плазмы, наблюдается серицитизация плагиоклазов. Далее песчаный обломочный материал дробится с утяжелением гранулометрического состава до супесчаного, органическое вещество импрегнируется с образованием темноцветных микросгустков, что сопровождается выветриванием полевых шпатов и дальнейшим утончением гранулометрического состава до легкосуглинистого.

Таблица 1

Гранулометрический состав разр. ТЛК-2(б)-17

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций (мм), %						
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
W	0–3	67	12	10	4	3	5	12
WC· ·	3–5/27	66	18	9	3	2	3	8
C. ·	5/14–26	67	21	8	2	1	2	5
IMPs (пятно)	5–31	22	5	22	12	14	25	51
IMP	26/31–37/46	51	21	15	4	3	6	13
Qox	37/46–49/67	65	25	5	1	1	3	5
Qimp	49/67–91	50	39	7	1	1	2	4

Таблица 2

Некоторые физико-химические свойства разр. ТЛК-2(б)-17

Горизонт	Глубина, см	pH водн.	CO_2	Сухой остаток	Гумус	Азот	Ca	Mg
		%					мг-экв/100г почвы	
W	0–3	7,0	–	0,24	1,58	0,04	11,5	3,9
WC· ·	3-5/27	6,7	–	0,10	1,14	0,07	6,9	1,7
C. ·	5/14–26	7,0	–	0,12	0,46	–	5,4	1,4
IMPs (пятно)	5–31	7,9	0,19	5,71	5,81	0,14	41,7	16,7
IMP	26/31–37/46	6,9	–	0,35	1,87	–	12,5	2,5
Qox	37/46–49/67	7,2	–	0,24	0,36	–	5,4	2,7
Qimp	49/67–91	6,9	–	0,23	0,75	–	5,6	1,4

На следующем этапе в микростроении появляются прослои органики среди песка, контактные языки из черной и бурой органики. В наиболее активных зонах импрегнации темные микросгустки сливаются в более крупные, растрескивающиеся при высыхании, почти черные агрегаты с песчаными зернами. Местами проявляется оптическая ориентация глин. В финале максимально «зрелые» из описанных нами импрегнированные тела имеют тяжелосуглинистый–легкоглинистый гранулометрический состав и полную темную пропитку. При высыхании они растрескиваются на грубообломочные агрегаты с образованием крупных пор.

Таким образом, в результате исследований было выявлено, что импрегнирование – это современный процесс, протекающий с участием эндогенных геофлюидов. Импрегнация в почвенном профиле происходит неравномерно с образованием импрегнированных тел различных форм и размеров. Нередко они формируются на контакте с каналами эндогенной дегазации, создавая вертикальные и субвертикальные морфоны, прослои, слои, либо в куполовидных ловушках антинклинального типа с появлением каймы темных горизонтальных и субгоризонтальных вихреватых слоев и прослоек, округлых и продолговатых морфонов. Импрегнированные элементы резко дифференцированы от остальной части почвенного профиля по морфологическим, физическим, физико-химическим, геохимическим свойствам и минералогическому составу. В «зрелых» морфонах очень высокое содержание физической глины, в пределе достигающее легкоглинистого диапазона. Отмечены повышенное содержание Сорг., легкорастворимых солей, карбонатов, геохимические аномалии серы, некоторых других элементов, большое количество оксидов в минералогическом составе, присутствие редких, щелочных амфиболов и других минералов, несвойственных породам горного обрамления котловины.

Литература

1. Морфологическое строение почв в ближайшей зоне влияния Кучигерских гидротерм (Баргузинская котловина) / Н. Б. Хитров, В. Л. Убугунов, В. И. Убугунова, Ю. А. Рупышев, Т. А. Аюшина, А. Д. Жамбалова, Э. Г. Цыремпилов, А. Е. Парамонова, Ц. Н. Насатуева // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1430–1453. DOI: 10.1134/S0032180X19120074.

2. Органическое вещество эндогенных почв Кучегэрского термального поля (Баргузинская котловина, Забайкалье): формы и внутрипрофильное распределение / В. Л. Убугунов, И. А. Ямнова, В. И. Убугунова, Н. Б. Хитров, М. П. Лебедева // Природа Внутренней Азии. 2025. № 2(31). С. 61–79.

3. Эндогенный фактор и морфогенетическое строение почв в зоне влияния Кучигерских гидротерм (Байкальская рифтовая зона, север Баргузинской котловины) / В. Л. Убугунов, Н. Б. Хитров, В. И. Убугунова, А. Д. Жамбалова, Ю. А. Рупышев, Т. А. Аюшина, А. Е. Парамонова, Э. Г. Цыремпилов, Ц. Н. Насатуева // Природа Внутренней Азии. 2018. № 4(9). С. 54–72. DOI: 10.18101/2542-0623-2018-4-54-72.

SPECIFIC MORPHOLOGICAL FORMATIONS IN THE SOILS OF THE ULYUNKHAN DEPRESSION (BARGUZIN BASIN, BURYATIA)

V. L. Ubugunov
Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, ubugunov@yandex.ru

In the north of the Barguzin basin (Republic of Buryatia, Russia), in the Ulyunkhan depression, in the area of unloading of the Kucher hydrothermal springs, we found specific morphological formations in the form of dark, almost black, viscous-plastic layers and morphones that harden strongly when drying. They develop with the participation of endogenous geofluids in the form of vertical and subvertical morphons, interlayers, layers, or in dome-shaped traps of an antincline type with the appearance of a border of dark horizontal and subhorizontal eddy layers and interlayers, rounded and oblong morphons. These elements are sharply differentiated from the rest of the soil profile by morphological, physical, physico-chemical, geochemical properties and mineralogical composition. The "mature" morphons have a very high content of physical clay, which reaches a light clay range in the limit with a sandy loam-sandy composition of the rest of the profile. An increased content of organic carbon, easily soluble salts, carbonates, geochemical anomalies of sulfur and some other elements, a large number of oxides in the mineralogical composition, the presence of rare, alkaline amphiboles and other minerals unusual for the rocks of the mountain rim of the basin were noted.

УДК 631.41:631.588.7(470.13-924.82)

ПОСТАГРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ НА МЕСТЕ ПОДСЕЧНО-ОГНЕВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА

Ю. В. Холопов, Л. А. Вахрушев, П. А. Арзубов, И. Н. Кутявин, А. А. Дымов

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар
Yuraholopov@yandex.ru

На протяжении столетий подсечно-огневое земледелие оставалось одним из ведущих антропогенных факторов, изменявших лесные экосистемы [3]. В Республике Коми эта практика сохранялась вплоть до начала XX в. [2]. Ныне бывшие пахотные угодья (возрастом свыше 100 лет) после самозарастания приблизились к естественным коренным лесным сообществам, но их почвы до сих пор сохраняют повышенное плодородие [1]. В связи с этим постагрогенные почвы, сформированные на месте исторических подсек, представляют особый интерес для изучения депонирования устойчивых форм углерода – важного фактора регулирования глобального углеродного баланса и климатических изменений.

Целью данной работы стало выявление морфологических и физико-химических особенностей почв средней тайги, обусловленные историческим применением подсечно-огневого земледелия с оценкой современного запаса углерода.

На базе Национального архива Республики Коми выполнен поиск подсечных участков по данным архивных межевых планов XIX–XX вв. (рис., A, B).

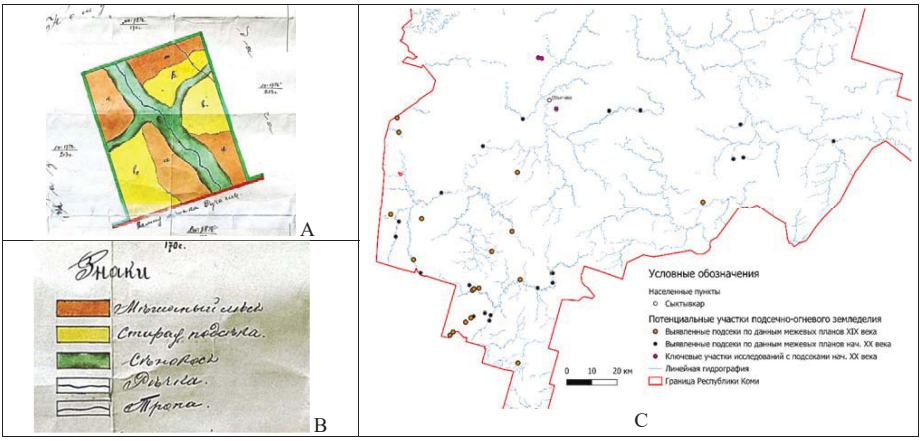


Рис. Пример выкипировки (A) из межевого плана от 1904 г. урочища Руча-Ель (Вологодская губерния, Усть-Сысольский уезд, Кочергинская волость) с указанием участков с различными типами землепользования (B): смешанный лес, старая подсека, сенокос. (C) Предполагаемые современные расположения подсечных участков (Республика Коми)

Проанализировано 330 архивных источника (Фонд 274, опись № 2), идентифицировано более 80 лесных выделов с разными типами исторического землепользования (подсеки, перелоги, расчистки) вдоль рек Вычегды, Сысолы, Лузы, Летки и их крупных притоков. Современное положение выделов определено по высокодетальным спутниковым снимкам Google Earth, создана пространственная база данных в программе QGIS. Необходимо отметить, что один из обнаруженных участков расположен вблизи долгосрочного биогеоценологического стационара «Ляльский». Данный стационар входит в сеть карбоновых полигонов проекта ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». Учет исторического аспекта формирования лесных экосистем необходим для корректной интерпретации данных мониторинга парниковых газов и для создания точных углеродных моделей. Полевые исследования на относительно молодых подсечных участках (70–90 лет) средней тайги вывили различные типы постагрогенных почв: дерново-элювозем грубогумусированный постагрогенный и агрезем текстурно-дифференцированный (Прилузский район РК); агрозем иллювиально-железистый остаточно-карбонатный (Усть-Куломский район РК). В верхней части профиля постагрогенных почв сохраняются пахотные горизонты (AYpa или P) мощностью до 15 см с включениями углистых частиц при отсутствии эллювиальных горизонтов (EL). Запасы углерода (С т/га) в пахотных горизонтах исследуемых постагрогенных почв в 2 раза превышают аналогичные значения в минеральных горизонтах близлежащих фоновых почв.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости учета исторического опыта землепользования при почвенных исследованиях, особенно на территориях, близко прилегающих к населённым пунктам, а также на надпойменных террасах и склонах увалов близ крупных рек и притоков. Представленная работа станет основой для уточнения классификационного положения лесных почв в зоне влияния подсечно-огневого земледелия и позволит количественно оценить запасы и время резистентности стабильных форм углерода в почвах средней тайги, что критически важно для прогноза углеродного цикла бореальных экосистем.

Литература

1. Наквасина Е. Н., Петрова Н. В. Структура ценофлоры живого напочвенного покрова в постагрогенных лесах в Кенозерском национальном парке // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2023. № 2 (46). С. 89–101. DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.6

2. История Коми АССР с древнейших времен до наших дней / В. С. Стоколос, В. Е. Лузгин, Э. А. Савельева и др. ; Гл. ред. И. Б. Берхин. Сыктывкар : Коми кн. изд-во, 1978. 560 с.

3. Lehtonen, H., Huttunen P. History of forest fires in eastern Finland from the fifteenth century AD – The possible effects of slash-and-burn cultivation // Holocene. 1997. Vol. 7, N 2. P. 223–228.

POSTAGROGENIC SOILS ON SLASH-AND-BURN SITES IN THE MIDLE TAIGA (KOMI REPUBLIC): MORHOLOGY, PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES, AND CARBON STOCKS

Y. V. Holopov, L. A. Vakhrushev, P. A. Arzubov, I. V. Kutyavin, A. A. Dymov
Institute of Biology of Komi Science Centre UB RAS, Syktyvkar
Yuraholopov@yandex.ru

The aim of this study was to identify morphological and physicochemical features of middle taiga soils conditioned by the historical use of slash-and-burn agriculture, along with an assessment of the current carbon stock. Based on materials from the National Archive of the Komi Republic, a search for slash-and-burn sites was carried out using archival boundary plans from the 19th – 20th centuries. More than 80 forest compartments with different types of historical land use (slash-and-burn fields, fallows, clearings) were identified along the large rivers Vychegda, Sysola, Luza and Letka. The current location of the compartments was determined using high-resolution Google Earth satellite imagery. At key sites, soils were studied on relatively young slash-and-burn areas (70 – 90 years old) in the middle taiga subzone of the Komi Republic. In the upper part of the soil profile, plow horizons AYpa or P (up to 15 cm thick with inclusions of charcoal particles) are preserved, while the eluvial horizon (EL) is absent. Carbon stocks (t C ha^{-1}) in the plow horizons of post-agrogenic soils are twice as high as those in the mineral horizons of nearby background soils. This work will provide a basis for refining the classification of forest soils within the zone affected by slash-and-burn agriculture and will enable a quantitative assessment of the stocks and resistance time (residence time) of stable carbon forms in middle taiga soils, which is critically important for predicting the carbon cycle of boreal ecosystems.

УДК 631.4

СЕДИМЕНТОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ

Е. В. Шеин[1,2,3], А. В. Дембовецкий[1], З. Тюгай[1], Ф. А. Лысаковский[1]

[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
evgeny.shein@gmail.com; avd26@yandex.ru; zemfira53@yandex.ru; lysakovskii77@mail.ru
[2]Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва
[3]Верхневолжский федеральный аграрный научный центр
Владимирская обл., Суздальский р-н

Гранулометрический состав – базовая характеристика почв, от него зависят многие другие почвенные свойства: физические, химические и биологические. Его используют при различных расчетах в мелиоративных, агрохимических и земледельческих целях, а также как основной предиктор в педотрансферных функциях для получения гидрофизической информации во многих математических моделях [1]. В настоящее время, учитывая достижения физики почв, электроники, приборостроения и других отраслей, мировая практика экспериментальных исследований в области охраны природы, почвоведения, мелиорации движется в сторону автоматизированных . независимых от аналитика методов (лазерная дифракция, ISP), что повышает их производительность и воспроизводимость, но ставит вопрос о преемственности многолетних данных, полученных классическими седиментационными методами, их использовании и классификаций[3].

Цель данного исследования: оценка возможностей нового метода ISP+ (integral suspension pressure) определения гранулометрического состава в сравнении с другими методами на примере нескольких типов почв европейской части России. В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи: 1. Сравнение результатов гранулометрического анализа почв, полученных методом ISP+ и традиционным пипет-методом. 2. Сравнение седиментометрических методов анализа гранулометрического состава (пипет-метод, ISP+) с методом лазерной дифракции.

Объекты и методы исследования

В исследовании были использованы три метода: пипет-метод Качинского – классический седиментометрический метод, основанный на законе Стокса; Метод ISP+ – автоматизированный метод, измеряющий давление суспензии для определения распределения частиц [4]; метод лазерной дифракции**,** основанный на анализе рассеянного света при прохождении лазера через суспензию почвы [2]. Пробоподготовка проводилась с применением 4 % пирофосфата натрия для пипет-метода и ISP+, а для лазерного дифрактометра использовалась ультразвуковая обработка при энергии в 450 Дж/мл в течение 5 мин.

Объектами исследования были образцы дерново-подзолистой, серой лесной почвы, чернозема обыкновенного и каштановой почвы. Для каждого метода проводился гранулометрический анализ, а результаты сравнивались по содержанию фракций: глины (< 2 мкм), пыли (2–50 мкм) и песка (50–1000 мкм).

Результаты и обсуждение

Сравнение ISP+ и пипет-метода Качинского (рис. 1, 2) показали хорошую сходимость для легких почв (дерново-подзолистая, серая лесная), где различия в содержании глины не превышали 5 % (рис. 1, *а*). Для тяжелых почв (чернозем) расхождения были более значительными (до 10 %), что может быть связано с высоким содержанием органического вещества (рис. 1, *б*) Преимуществом метода ISP+ является более высокая точность измерений и воспроизводимость результатов благодаря автоматизации и контролю температуры.

При сравнении седиментометрических методов с лазерной дифракцией (рис. 1, 3) отмечается завышение содержания пыли и занижение содержания глины методом лазерной дифракции, особенно в тяжелых почвах, что также подтверждается работами других авторов [3]. Например, для чернозема содержание глины по методу лазерной дифракции было в 2 раза ниже, чем по пипет-методу (рис. 1, *б*). Для дерново-подзолистых почв результаты более сходимы для всех трех методов (рис. 1, *а*)

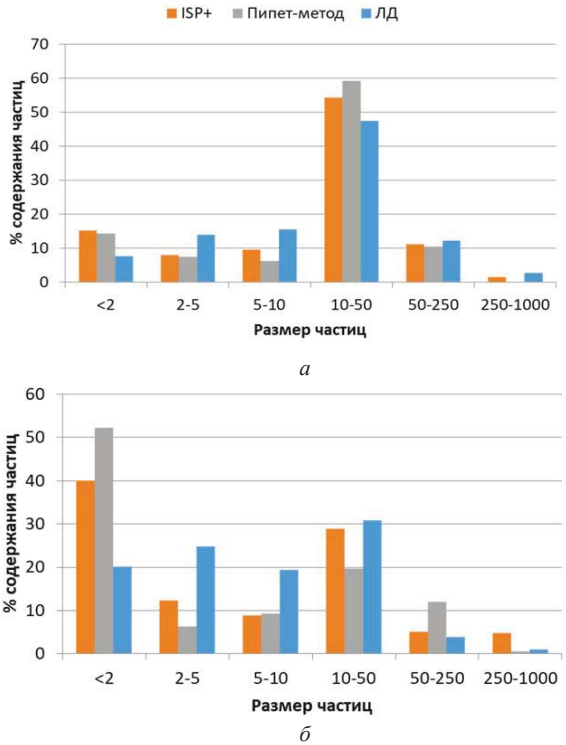


Рис. 1. Гранулометрический состав горизонта AY дерново-подзолистой почвы (*а*) горизонта AU1 чернозема обыкновенного (*б*) по трем методам

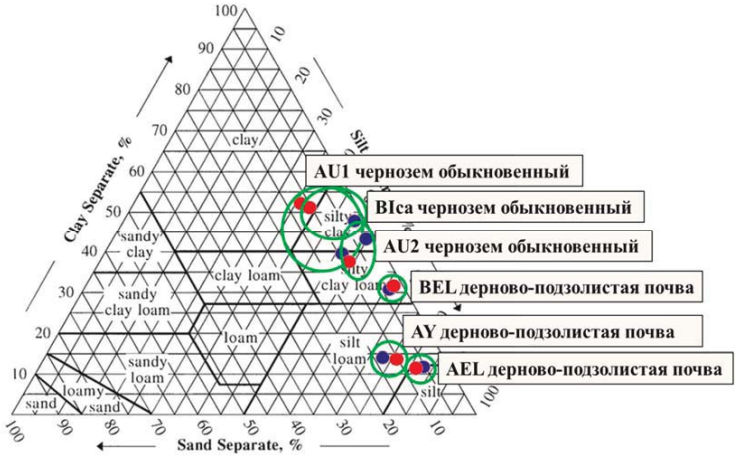


Рис. 2. Сравнение результатов пипет-метода (красные точки) и ISP+ (синие точки), на треугольнике Ферре (USDA)

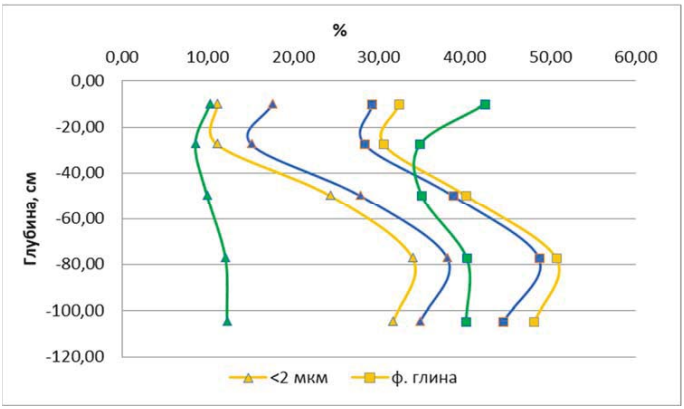


Рис. 3. Содержание частиц <2 мкм и физической глины вниз по профилю серой лесной почвы тремя методами: пипет-метод (синий), ISP+ (желтый) и лазерной дифракции (зеленый)

Для сравнения фракции глинистых частиц, полученных пипет-методом были отобраны пробы <1 мкм, которые затем анализировались на лазерном дифрактометре. Результаты показали, что для почв с низкой плотностью твердой фазы, более высоким содержанием органического вещества (например, гумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы) в пробу попадало больше крупных частиц из-за их медленного осаждения, вследствие их разной плотности и формы, в отличие от текстурного горизонта В, где содержание илистых частиц достигало 80 %. Лазерная дифракция, несмотря на высокую скорость анализа, возможно требует внесения поправочных коэффициентов для почв с высоким содержанием органики и тяжелым гранулометрическим составом, учитывая

значительные расхождения в определении глинистых частиц. (рис. 1,3.) Выбор метода определения гранулометрического состава должен учитывать тип почвы и цели исследования, но для текстурно-дифференцированных почв седиментометрические методы остаются предпочтительными, так как лучше отражают распределение частиц по профилю (рис. 3).

Выводы

1. Метод ISP+ демонстрирует высокую точность, быстроту и удобство использования, особенно для легких почв, и может служить хорошей альтернативой традиционному пипет-методу.

2. Лазерная дифракция, несмотря на высокую скорость анализа, возможно требует внесения поправочных коэффициентов для почв с высоким содержанием органики и тяжелым гранулометрическим составом, учитывая значительные расхождения в определении содержания глинистых частиц.

3. Выбор метода определения гранулометрического состава должен учитывать тип почвы и цели исследования.

4. Для текстурно-дифференцированных почв седиментометрические методы остаются предпочтительными, так как лучше отражают распределение частиц по профилю.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М. В. Ломоносова (тема № 121040800146-3. Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления).

Литература

1. Теории и методы физики почв : учебник и практикум / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. М. : Гриф и К, 2007. 616с.

2. Практикум по физике твердой фазы почв : учеб. пособие/ Д. Д. Хайдапова, Е. Ю. Милановский, З. Тюгай [и др.]. М. : Буки-Веди, 2022. 132 с.

3. Пути создания классификации почв по гранулометрическому составу на основе метода лазерной дифракции / А. В. Юдина [и др.] // Почвоведение. 2020. № 11.

4. Durner W., Iden S. C., von Unold G. The integral suspension pressure method (ISP) for precise particle-size analysis by gravitational sedimentation // Water Resour. Res. 2017. Vol. 53. P. 33–48, doi:10.1002/2016WR019830.

SEDIMENTOMETRIC METHODS FOR DETERMINING THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF SOILS

Z. Tyugay[1], A. V. Dembovetsky[1], F. A. Lysakovsky[1], E. V. Shein [1,2,3]
[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow,
evgeny.shein@gmail.com; avd26@yandex.ru; zemfira53@yandex.ru lysarovskii77@mail.ru
[2]V. V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow
[3]Verkhnevolzhsky Federal Agricultural Research Center, Vladimir Region, Suzdalsky District

An experimental comparison was conducted of three methods for analyzing soil particle size distribution: the traditional Kachinsky pipette method, the integral suspension pressure (ISP+) method, and laser diffraction. The study was performed on four types of zonal soils: sod-podzolic, gray forest, ordinary chernozem, and chestnut soils. The ISP+ method demonstrated advantages including automation, temperature control, and reduced analysis time. Its results showed good agreement with the pipette method for light soils; however, for heavy soils (particularly those with high organic matter content), discrepancies in clay fraction determination reached 10 %. Laser diffraction exhibited high reproducibility but showed significant deviations from sedimentometric methods in assessing clay and silt content, which limits its applicability in traditional soil classification.

СЕКЦИЯ 2

МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПОДХОДЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В ДРУГИХ НАУКАХ И НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

УДК 616.613-003.7

ЛИТОГЕННЫЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАМНЕЙ БИЛИАРНОЙ СИСТЕМЫ ЖИТЕЛЕЙ ЯКУТИИ

Т. И. Васильева[1], О. В. Шадринова[1], В. Г. Слепцов[3], Е. Г. Сизых[4]

[1]Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск
vasilevatig@yandex.ru, ovshadrinova@mail.ru
[2]Республиканская больница № 1-Национальный центр медицины им. М. Е. Николаева,
vslepsov@mail.ru
[3]Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,
putnikvprostratsii@yandex.ru

В зоне многолетней мерзлоты природные факторы среды, такие как специфический состав почвообразующих пород, низкая интенсивность биологического круговорота и особенности миграции микроэлементов в почвенном профиле, формируют уникальные геохимические ландшафты. Эти условия оказывают непосредственное, но во многом еще недостаточно изученное влияние на элементный статус человека и, в особенности, механизмы формирования патологических новообразований в организме [1; 2]. В рамках междисциплинарного подхода методы почвоведения и геохимии позволяют детально проследить пути трансформации и миграции минеральных компонентов от литологической основы через почвенный покров в биологические системы. В сочетании с данными о составе природных вод и билиарных конкрементов это создает условия для интерпретации механизмов литогенеза, рассматриваемого в виде системы «порода – вода/почва – организм человека» [3; 4].

В настоящем исследовании использованы минералого-геохимические и биохимические методы анализа желчных камней, включая рентгенофазовый анализ минералогического состава, хроматографическое определение органических компонентов, атомно-абсорбционное спектроскопическое исследование микроэлементного состава и микрозондовое картирование распределения элементов. Данные методы позволяют установить не только качественный и количественный состав камней, но и особенности распределения компонентов внутри структуры конкремента. В сочетании с анализом геохимических характеристик природной среды это даёт возможность оценить роль литогенных и экологических факторов в формировании различных типов желчных камней у жителей Якутии.

Минеральный состав образцов определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER (Bruker, Германия), что позволило идентифицировать основные и примесные кристаллические фазы, участвующие в строении конкрементов. По данным ранее проведённого исследования [5], основными компонентами изученных желчных камней являлись холестерин, билирубин, карбонаты кальция, представленные ватеритом и кальцитом, а также фосфатные минералы апатитового ряда (рис. 1). Присутствие карбонатных и фосфатных минералов в структуре конкрементов может свидетельствовать о смене физико-химических условий в желчном пузыре в ходе роста камня, в

частности об изменениях pH, ионного состава и степени пересыщения желчи [6]. Такой фазовый анализ послужил основой для дальнейшего сопоставления минерального состава с распределением микроэлементов и органических соединений.

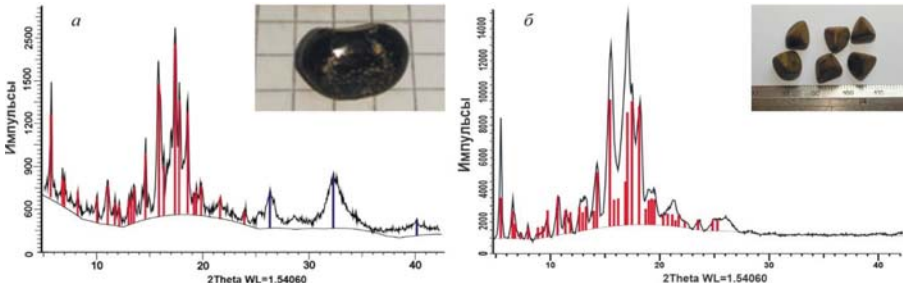


Рис. 1. Морфология (фото) и состав желчных камней (дифрактограммыхолеолитов с различным минеральным составом): *а* – образец 2719ж, *б* – образец 2723ж. На дифрактограмме красным цветом обозначены линии стеринов, синим – апатита

Для характеристики органической составляющей были использованы результаты хроматографического анализа состава желчных камней на газовом хромато-масс-спектрометре (ГХ-МС) системы «Маэстро» Agilent 5975C (Agilent Technologies, США). Установлено, что органическое вещество исследованных образцов представлено, прежде всего, стеринами, среди которых доминирует холестерин, а в меньших количествах присутствуют ланостерин, десмостерин и эргостенол. Кроме того, в составе выявлены органические и неорганические кислоты, азотсодержащие соединения, жирные кислоты, фенольные вещества и сахара. Хроматографические данные показали, что наряду с холестерином существенную роль в вариабельности состава играют пальмитиновая и стеариновая кислоты, распределение которых различается между ядром, средней зоной и периферией камня. Это указывает на стадийность роста конкрементов и неоднородность условий их формирования, при этом ядро и периферические зоны камней различаются по соотношению основных соединений.

Содержание микроэлементов изучено на электротермическом атомно-абсорбционном спектрометре МГА-1000 (ГХ «Люмэкс», Россия). Конкременты были исследованы на содержание марганца, цинка, свинца, никеля, железа, бария, стронция, ванадия, олова, сурьмы, висмута и серебра. Отметим, что содержание исследованных микроэлементов распределено достаточно неравномерно.

Дополнительно для одного из образцов были использованы результаты микрозондового аналитического рентгеновского сканирования, выполненного на приборе ЭКРОС XRF-9700 STINGRAY (ООО «ЭКРОСХИМ», Россия). По данным картирования в исследуемом образце выделено локальное кольцо с накоплением кальция, фосфора и марганца (рис. 2). Распределение элементов указывает на зональное строение конкремента и отражает неоднородность процессов его минерализации. Вероятнее всего, формирование желчного камня

происходило последовательно в несколько стадий, при которых менялись условия кристаллизации и состав осаждающейся фазы. Совпадение кальциевых и марганцевых максимумов свидетельствует о том, что марганец не является случайной примесью, а входит в состав апатита, вероятно, в виде изоморфной примеси.

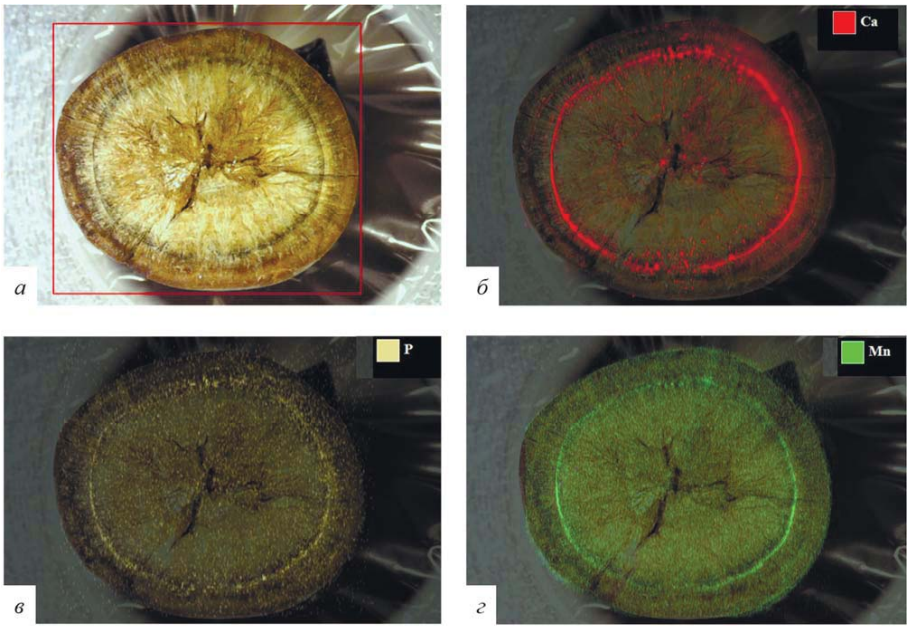


Рис. 2. Фотография желчного камня (*а*) и результаты картирования (*б, в, г*), образец 2718ж.

Сопоставление результатов рентгенофазового анализа, хроматографического определения органических компонентов и микрозондового картирования позволило рассматривать желчный камень как многокомпонентную систему с определенной зональностью. Такой подход важен для реконструкции условий камнеобразования, поскольку даёт возможность оценивать не только общий состав конкремента, но и внутреннюю дифференциацию его вещества, отражающую последовательность осаждения органических и минеральных фаз.

Комплексное исследование показало, что желчные камни у обследованных пациентов представляют собой гетерогенные образования, сформированные при участии как органических, так и минеральных компонентов. Их состав и внутренняя организация указывают на последовательное формирование конкрементов, в ходе которого, для некоторых камней, поочередно происходили осаждение холестерина, накопление билирубиновых соединений и внедрение кальцийсодержащих минеральных фаз. Это подтверждает, что холелитиаз сле-

дует рассматривать как многофакторный процесс, зависящий от особенностей обмена веществ, состава желчи и внешних геохимических условий.

Полученные данные позволяют также предположить, что состав желчных камней может в определённой степени отражать особенности микроэлементного баланса организма и геохимические условия региона проживания. Если учитывать результаты анализа зависимости содержания микроэлементов от места постоянного проживания, можно говорить о возможном влиянии территориальных различий в составе окружающей среды на формирование литогенного профиля. В условиях Якутии это особенно важно, поскольку природная неоднородность ландшафтов, особенности водообеспечения и локальные различия в химическом составе почв могут влиять на поступление элементов в организм и, как следствие, на состав желчных конкрементов.

Совокупность полученных результатов приводит к выводу, что желчные камни являются сложными интегральными объектами, в которых отражаются как особенности липидного и билирубинового обмена, так и минерально-геохимические факторы среды. Комбинация рентгенофазового анализа, хроматографии и атомной абсорбции позволяет не только уточнить состав конкрементов, но и реконструировать последовательность их формирования. Это создаёт основу для более глубокого понимания механизмов билиарного литогенеза в региональном аспекте.

Из вышесказанного следуют выводы, что желчные камни пациентов, постоянно проживающих в Якутии, представляют собой сложные гетерогенные образования, в составе которых сочетаются органические и минеральные компоненты. Основу органической части конкрементов составляет холестерин, наряду с ним в составе выявляются жирные кислоты, стерольные производные и другие органические соединения. Минеральная составляющая исследованных образцов включает кальцийсодержащие фазы, в том числе карбонаты кальция, представленные арагонитом, ватеритом и кальцитом, а также апатитом, что свидетельствует об участии фосфатных и карбонатных процессов в камнеобразовании. Микрозондовое картирование показало выраженную пространственную неоднородность распределения элементов в структуре конкремента, в частности локальное накопление кальция и участков совместного присутствия кальция и марганца. Комплексное применение рентгенофазового анализа, хроматографии и микрозондового картирования позволяет рассматривать процесс формирования желчных камней как многоэтапный и зависящий от сочетания биохимических и геохимических факторов. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего изучения региональных особенностей билиарного литогенеза и связи состава конкрементов с микроэлементным статусом населения.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 26-27-20058 «Литогенный и геохимический факторы в образовании камней билиарной системы жителей Якутии».

Литература

1. Добровольский В. В. Геохимия почв и ландшафтов. Т. 2. М. : Науч. мир, 2008. 752 с.
2. КовальскийВ. В., Геохимическаяэкология. М. : Наука, 1974. 303 с.
3. Microstructural and Geochemical Characterization of Gallstones: Implications for Biomineralization / K. Jayasoma, N. H. Koralegedara, A. Dharmapala, C. Rohana // Biological Trace Element Research. 2022. P. 4891–4902.
4. The roles of metal ions in Asian gallstones formation / K. Tong, C. Jing, T. Wang, K. Liu, W. Guo, Z. Zhang // Journal of Surgery. 2024. P. 2853–2858.
5. LegostaevaYa. B., Vasileva T. I., Shadrinova O. V. Mineralogical and Trace Element Composition of Gallstones in Yakutia: Insights into Lithogenic and Environmental Factors // Biological Trace Element Research. 2026. P. 1–15.
6. Голованова О. А. Фазовый и химический состав желчных камней в организме человека. Параметры камнеобразующей среды // Вестник СПбГУ. Серия 4. 2006. № 4. С. 76–82.

LITHOGENIC AND GEOCHEMICAL FACTORS IN THE FORMATION OF BILIARY SYSTEM STONES AMONG RESIDENTS OF YAKUTIA

T. I. Vasileva[1], O. V. Shadrinova[1], V. G. Sleptsov[2], E. G. Sizykh[3]
[1]Diamond and Precious Metal Geology Institute, Yakutsk
vasilevatig@yandex.ruutsk, ovshadrinova@mail.ru
[2]Republic Hospital N 1 – National Center of Medicine, Yakutsk, vslepsov@mail.ru
[3]North-Eastern Federal University, Yakutsk, putnikvprostratsii@yandex.ru

Gallstone disease is a common gastrointestinal disorder, and the mechanisms underlying biliary stone formation remain a subject of active study. Of particular interest is the influence of regional geochemical conditions on the composition and structure of stones, especially in areas with a highly heterogeneous natural environment. The mineral, organic, and elemental compositions were determined using X-ray diffraction analysis, chromatography, atomic absorption spectrometry, and microprobe mapping. The main mineral components include calcium carbonates represented by vaterite and calcite, as well as phosphate minerals of the apatite series. The organic component of the samples was primarily represented by sterols (predominantly cholesterol), nitrogen-containing compounds, fatty acids, phenolic substances, sugars, and palmitic and stearic acids. Trace elements identified included manganese, zinc, lead, nickel, iron, barium, strontium, vanadium, tin, antimony, bismuth, and silver. The studied stones were shown to have a heterogeneous elemental composition, and the distribution of trace elements within their structure is zonal, reflecting the non-uniformity of mineralization processes. This confirms that cholelithiasis should be considered a multifactorial process dependent on metabolic characteristics, bile composition, and external geochemical conditions. The study results expand our understanding of the regional characteristics of gallstone disease and can be used in further studies of risk factors in the cryolithozone.

УДК 631.4

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБРИДНЫХ НАНОПЛАТФОРМ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ И БИОЧАРА ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ДОСТАВКИ АУКСИНОВ РАСТЕНИЯМ

М. А. Грицай[1], Т. В. Бауэр[2], В. А. Поляков[1], В. В. Бутова[1]

[1]Южный федеральный университет, Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов, Ростов-на-Дону, gritsai@sfedu.ru
[2]Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского, Ростов-на-Дону

Современное сельское хозяйство сталкивается с необходимостью перехода к технологиям «умного» земледелия, где ключевую роль играет адресная доставка агрохимикатов и регуляторов роста растениям. Использование классических методов внесения ауксинов зачастую малоэффективно из-за их быстрой деградации в почве, вымывания и неконтролируемого воздействия на растения [1]. В этом контексте создание нанокомпозитных носителей открывает принципиально новые возможности для пролонгированного и контролируемого высвобождения фитогормонов.

Особый интерес представляет использование биочара и металл-органических каркасов (МОК) как компонентов единой системы. Биочар, являясь продуктом пиролиза биомассы, обладает развитой пористой структурой и высокой стабильностью в почвенной среде. Он выступает не только как носитель, но и как мелиорант, улучшающий структуру почвы, ее влагоудерживающую способность и катионный обмен [2]. Однако сорбционная емкость биочара по отношению к специфическим органическим молекулам, таким как ауксины, может быть ограничена.

В свою очередь, металл-органические каркасы (в частности, MIL-100(Fe)) представляют собой класс гибридных материалов с высокой удельной площадью поверхности и упорядоченными порами нанометрового размера [3]. МОК позволяют осуществлять селективную адсорбцию молекул за счет регулируемого размера пор и наличия активных металлических центров. Их использование дает возможность «упаковывать» высокую концентрацию ауксина в малом объеме носителя.

Таким образом, разработка таких систем позволяет не только защитить чувствительные молекулы ауксинов от внешних факторов, но и обеспечить их доставку непосредственно к корневой зоне в течение длительного периода, что критически важно для стимуляции роста растений на ранних этапах развития.

В ходе реализации исследования была проведена работа по оптимизации процесса загрузки фитогормонов в нанoплатформы, состоящие из биочара (БЧ) и МОК MIL-100(Fe). Синтез композита (MIL@БЧ) включал последовательную модификацию поверхности: сначала гуминовой кислотой (MIL@БЧ@ГК), а затем цетилтриметиламмония бромидом (CTAB) для формирования биополимерного слоя (MIL@БЧ@ГК@БП).

В качестве целевого ауксина была выбрана 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), загрузка которой осуществлялась методом пропитки на каждом этапе модификации носителя. Для контроля стабильности фазового состава полученных материалов использовался метод порошковой рентгеновской дифракции (XRD). Установлено, что процессы модификации поверхности и последующей сорбции ауксина не привели к разрушению кристаллической структуры MIL-100(Fe). На дифрактограммах образцов MIL@БЧ@АУ и MIL@БЧ@ГК@БП фиксировались характерные пики фазы MIL-100, а также наличие примеси α-кварца (SiO_2), характерного для биочара.

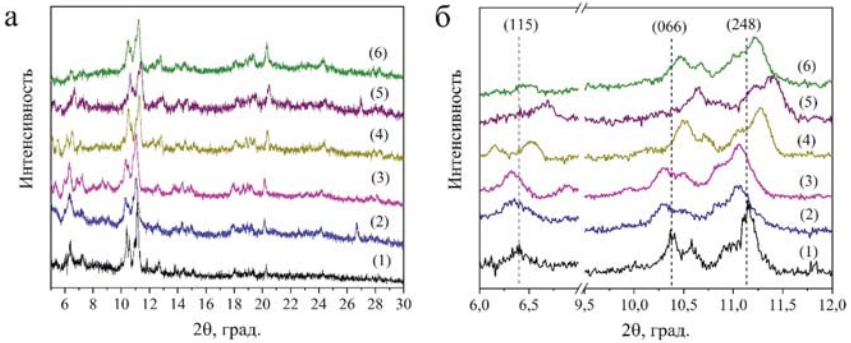


Рис. Профили XRD образцов: (1) MIL@БЧ, (2) MIL@БЧ@АУ, (3) MIL@БЧ@ГК, (4) MIL@БЧ@ГК@АУ, (5) MIL@БЧ@ГК@БП, (6) MIL@БЧ@ГК@БП@АУ. Часть (*а*) демонстрирует регион 2θ 5–30°. Часть (*б*) показывает увеличенный участок 6–12°. Пунктирными линиями отмечены пики, использованные для расчета параметров элементарной ячейки соответствующих фаз

Анализ элементного состава (EDS) образцов подтвердил успешную адсорбцию ауксина. В образцах, загруженных 2,4-Д, наблюдалось значительное увеличение содержания хлора (Cl), который выступает индикатором присутствия ауксина. При этом области локализации Cl на картах распределения элементов совпадали с областями локализации железа (Fe), что подтверждает преимущественную сорбцию ауксина именно на частицах МОК MIL-100(Fe). Максимальное содержание Cl зафиксировано в образце с полным покрытием (MIL@БЧ@ГК@БП@АУ – 0,52 ат. %), в то время как промежуточные стадии (MIL@БЧ@АУ и MIL@БЧ@ГК@АУ) показали сопоставимые результаты сорбции (около 0,12–0,13 ат. %).

Таким образом, результаты исследования продемонстрировали высокую эффективность разработанных композитных наноплатформ для сорбции фитогормонов. Последовательная модификация биочара и МОК биополимерами позволяет существенно увеличить емкость носителя по отношению к ауксину. Сохранение кристаллической структуры материала при загрузке подтверждает его перспективность для использования в качестве стабильного почвенного мелиоранта с функцией контролируемого высвобождения регуляторов роста.

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

Литература

1. Cao L., Ma H., Zhao H.Amphiphilic polymer-based nanoparticles with a shell-core structure for the controlled delivery of the herbicide 2,4-D // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2016. Vol. 64, N 31. P. 6140–6147.

2. Окоркова А. С., Степанов А. С., Мамонтов В. Г. Влияние биочара на агрофизические и химические свойства почв (обзор) // Почвоведение. 2022. № 4. С. 493–505.

3. He S., Wu L., Liu J. Metal-organic frameworks for smart delivery of agri-chemicals // Nanoscale Horizons. 2021. Vol. 6, N 11. P. 866–883.

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF HYBRID NANOPLATFORMS BASED ON METAL-ORGANIC FRAMEWORKS AND BIOCHAR FOR CONTROLLED DELIVERY OF AUXIN TO PLANTS

M. A. Gritsay[1], T. V. Bauer[2], V. A. Polyakov[1], V. V. Butova[1]

[1]Southern Federal University, International Research Institute for Intellectual Materials, Rostov-on-Don, gritsai@sfedu.ru

[2]Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovsky, Rostov-on-Don

The study focuses on the optimization of phytohormone loading into nanoplatforms based on MIL-100(Fe) and biochar. The composite materials were sequentially modified with humic acids and biopolymers to improve their sorption capacity. Auxin (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) was loaded using the impregnation method. X-ray diffraction analysis confirmed the stability of the crystalline structure after modification and loading. EDS mapping showed that auxin is predominantly adsorbed on MIL-100(Fe) particles. The highest auxin content was achieved in the multilayered composite (0.52 at. % Cl). These findings suggest that the developed nanocomposites are promising for smart delivery systems in soil science and agriculture.

УДК 551.583+502.131.1

ГЛОБАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА – УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНДИКАТОР КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В. Г. Двуреченский

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, dvu-vadim@mail.ru

Устойчивое развитие – это такая модель движения и развития человечества, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей живущих сейчас поколений людей, без лишения возможности развития будущих поколений. Концепция устойчивого развития появилась в результате объединения трех основных точек зрения: экономической, социальной и экологической.

Экономический подход в концепции устойчивого развития основан на теории максимального потока совокупного дохода, который может быть произведен при условии, по крайней мере, сохранения совокупного капитала, с помощью которого и производится этот доход. Эта теория подразумевает оптимальное использование ограниченных ресурсов, к которым относятся почвы, и использование экологичных, природо-, энерго- и материало-сберегающих технологий, включая добычу и переработку сырья, создание экологически приемлемой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов.

Социальная составляющая устойчивого развития ориентирована на человека и направлена на сохранение стабильности социальных и культурных систем, в том числе на сокращение числа разрушительных конфликтов между людьми. Важным аспектом этого подхода является справедливое разделение благ. Желательно также сохранение культурного капитала и многообразия в глобальных масштабах, а также более полное использование практики устойчивого развития, имеющейся в не доминирующих культурах. Для достижения устойчивого развития современному обществу придется создать более эффективную систему принятия решений, учитывающую исторический опыт и поощряющую многополярность мира. Человек должен участвовать в процессах, которые формируют сферу его жизнедеятельности, содействовать принятию и реализации решений, контролировать их исполнение.

С экологической точки зрения устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем. Особое значение имеет жизнеспособность экосистем, от которых зависит глобальная стабильность всей биосферы. Более того, понятие «природных» систем и ареалов обитания можно понимать широко, включая в них созданную человеком среду, такую как, например, антропогенные ландшафты. Основное внимание уделяется сохранению способностей к самовосстановлению и динамической адаптации таких систем к изменениям, а не сохранение их в некотором «идеальном» статическом состоянии. Деградация почвенного покрова, загрязнение окружающей среды и утрата биологического разнообразия сокращают способность экологических систем к самовосстановлению.

Согласование таких различных точек зрения и их перевод на язык конкретных мероприятий, являющихся средствами достижения устойчивого развития – задача крайне сложная, поскольку все три элемента устойчивого развития должны рассматриваться сообща, сбалансировано. Важны также и механизмы взаимодействия этих трех составляющих. Экономический и социальный элементы, взаимодействуя друг с другом, порождают такие новые задачи, как достижение справедливости внутри одного поколения (например, в отношении распределения доходов) и оказание целенаправленной помощи малоимущим слоям населения. Механизм взаимодействия экономического и экологического элементов породил новые идеи относительно стоимостной оценки и интернализации (учета в экономической отчетности предприятий) внешних воздействий на окружающую среду. Наконец, связь социального и экологического элементов вызвала интерес к таким вопросам как равенство внутри поколения и между поколениями, включая соблюдение прав будущих поколений, и участия населения в процессе принятия решений [1].

При работе над материалами, представляющие собой обзоры международных организаций, нормативно-правовые акты и периодические издания, использовался системный метод для выявления универсального индикатора (глобальное потепление), применимого ко всем трем факторам устойчивого развития [2–4].

Цель: показать, что изменение климата является универсальным индикатором устойчивого развития, так как применим ко всем трем составляющим концепции (экономической, экологической и социальной).

Задачи:

1) показать, что глобальные явления по изменению климата можно рассматривать в качестве индикатора устойчивого развития;

2) выявить универсальность индикатора «изменение климата».

Концепция устойчивого развития включает в себя определение и учет двух основных пределов:

1. Граница экологического максимума – т. е. тот уровень максимально безопасного количества выбросов, степени истощения ресурсов и нетронутых экосистем, который не приводит к разрушению биосферы и гибели цивилизации. Этот показатель также называют разрешающая способность биосферы. Ученые по-разному оценивают разрешающую способность биосферы, например, что биосфера будет находиться в стабильном состоянии, и иметь способность к самовосстановлению только при условии сохранения нетронутыми не менее 60 % диких экосистем суши [5].

2. Граница социального минимума – т. е. такой минимум использования природных ресурсов, при котором обеспечиваются базовые потребности, поддерживающие жизнь человека, и не нарушаются права человека на благополучную и достойную жизнь.

При этом нижний предел человеческих потребностей воспринимается как минимальная потребительская корзина, которая включает в себя набор продуктов, необходимый человеку для нормальной жизни. Потребительская корзина

составляется с учетом потребностей человека в разнообразной пище, уровня ее калорийности, витаминах и др. Область устойчивого развития – это такое качество жизни человека, при котором уровень потребления природных ресурсов не превышает границу экологического максимума, но и не опускается ниже границы социального минимума. Подобный баланс трудно соблюсти.

В нашей стране довольно часто неправильно трактуется концепция устойчивого развития. Под устойчивым развитием предполагают порой социально-экономическое развитие, природоохранные мероприятия, повышение удоев, урожая, зарплаты и т. п. Такой же подход можно наблюдать, изучая Конституцию РФ, уставы и конституции субъектов Российской Федерации. Во многих нормативно-правовых документах присутствует подобный подход, в том числе в Федеральных законах. Первым кодифицированным федеральным законом, в котором точно отразился классический подход к пониманию устойчивого развития – Градостроительный кодекс, в первом принципе которого говориться об обеспечении комплексного и устойчивого развития территории на основе территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территории. Второй принцип конкретизирует первый, так как он определяет устойчивое развитие как обеспечение сбалансированного учета экологических, экономических, социальных и иных факторов при осуществлении градостроительной деятельности. Такой же подход применяется в обновившемся Федеральном законе «Об охране окружающей среды», в третьем принципе которого говорится о научно обоснованном сочетании экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды.

Президент Российской Федерации В. В. Путин четко понимает концепцию, и если проанализировать его послание Федеральному Собранию (февраль 2024 г.) о развитии нашей страны до 2030 г., то в нем явно определяются три взаимосвязанных направления: экономика, социальная сфера и охрана окружающей среды. В последние два-три года виден разворот в понимании концепции устойчивого развития. Все мы как специалисты в области изучения законов природы, экономики и социума должны этому способствовать.

Изменение климата как экологическая проблема проявляется, прежде всего, в повышении средней температуры на планете (глобальное потепление). Подобное явление вызвано усилением естественного парникового эффекта земной атмосферы за счет резкого увеличения выбросов парниковых газов (углекислого газа, оксида азота и др.). Наибольший объем выбросов этих газов в атмосферу обеспечивают в первую очередь вулканическая деятельность планеты, а затем уже результат антропогенеза: промышленность, транспорт, электроэнергетика. Ископаемые виды топлива – уголь, нефть – вносят наибольший вклад в изменение климата: на их долю приходится свыше 75 % глобальных выбросов парниковых газов и почти 90 % всех выбросов CO_2.

Последствия изменения климата как индикатора экологической составляющей:

1) повышение влажности климата, усиление неравномерности выпадения осадков, приводящее к учащению засух и наводнений;

2) снижение количества осадков и объёма пресных водоёмов, дефицит питьевой воды;

3) повышение уровня Мирового океана, затопление мелких островов и прибрежных низменностей;

4) угнетающее влияние на экосистемы, слишком быстрое изменение среды обитания растительных и животных организмов;

5) таяние ледников, возрастание опасности лавин и селевых потоков;

6) снижение урожайности в сельскохозяйственных районах вне умеренного климата, вследствие трансформации почв;

7) негативное влияние на здоровье человека, повышение частоты сердечнососудистых, психических и некоторых других патологий;

8) снижение продуктового обеспечения населения.

Изменение климата можно считать и социальной проблемой, так как подобные изменения оказывают негативное воздействие на качество жизни людей, включая доступность продовольствия, здоровье, пригодность территорий для жилья и ведения экономической деятельности. Некоторые аспекты влияния изменения климата на социальные проблемы:

1) конфликты. Изменение климата может стать причиной серьезных конфликтов между людьми. В особенности велик риск возникновения конфликтов, связанных с правами на плодородные почвы, нехваткой воды;

2) усугубление бедности и неравенства. В беднейших странах значительная часть населения напрямую зависит от тех видов деятельности, которые в наибольшей степени подвержены воздействию изменения климата, в частности, от сельского, лесного и рыбного хозяйства;

3) климатическая миграция. Люди вынуждены покидать свои дома и переезжать в другие районы своих стран или в другие страны из-за опасностей, вызванных экстремальными погодными явлениями;

4) угроза здоровью населения. Изменение цикла осадков, частые стихийные бедствия, непригодность различных территорий для ведения хозяйства, перемены в температурном режиме, отсутствие доступа к питьевой воде, загрязнение атмосферного кислорода значительно воздействуют на состояние здоровья населения.

Изменение климата вызывает и серьезные экономические проблемы, которые влияют на различные сферы и отрасли народного хозяйства. Некоторые последствия изменения климата для экономики:

1) снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Продолжительные засухи или, напротив, непривычно обильные осадки, а также колебания температур угрожают продовольственной безопасности;

2) разрушение природных экосистем. При добыче полезных ископаемых полностью уничтожается почвенный покров;

3) нехватка водных ресурсов. Увеличение продолжительности засух, а также температурные рекорды значительно увеличивают расход воды;

4) опасность для здоровья. Загрязнение воздуха, нехватка воды и пищи, температурные колебания негативно влияют на здоровье людей;

5) увеличение числа природных катастроф. Растут количество и масштабы лесных пожаров, засух, наводнений и других бедствий.

Кроме того, нестабильность климата может заставить компании столкнуться с неопределенностью цен на ресурсы для производства, транспортировки энергии и страхования. Некоторые продукты могут вовсе устареть или потерять свой рынок сбыта. Для решения этой проблемы страны должны усилить ответные меры на угрозу повышения температуры, ввести политику по смягчению потепления за счет сокращения выброса парниковых газов и адаптации к его воздействию. Чтобы снизить социальные риски от изменения климата, необходимо осуществлять специальные программы помощи наиболее уязвимым слоям общества. Следует обратить внимание на то, что некоторые параметры повторяются и входят в список нескольких факторов, что свидетельствует о тесной связи этих факторов (или подходов).

Решить глобальную проблему изменения климата можно только за счет совместных усилий всех стран мира. Устойчивое развитие – это такое развитие, которое полностью согласовано с законами глобальной эволюции живой природы и законами исторического развития человечества.

В настоящее время планета Земля столкнулась с необратимым разрушением окружающей среды. Управление в социальных и экономических системах, не согласованное с потенциалом природной среды, ее воспроизводящей способностью и законами природы, считается причиной необратимых явлений, которых населяющие планету живые существа не смогут долго выдержать: милитаризация экономики ведет к экологическим проблемам регионов, что подрывает ресурсную базу и экономический рост. Речь идет о системном глобальном кризисе, а не об отдельных кризисах: экологическом, производственном, социальном.

Переход к устойчивому развитию требует кардинальных преобразований, в центре которых – экологизация всех основных видов деятельности человечества, самого человека, изменение его сознания и созидание нового «устойчивого общества» как сферы разума. Такие изменения должны происходить не стихийно, а целенаправленно, осознанно, и одним из главных механизмов управления этим процессом может стать нравственный, гуманный разум объединенного человечества, использующий все возможные социально-экономические, политические и технические механизмы.

Выводы

1. Изменение климата возможно и необходимо использовать в качестве индикатора устойчивого развития.

2. Индикатор «изменение климата» универсален в использовании, применительно к концепции устойчивого развития.

Литература

1. Двуреченский В. Г. Рекультивация почв с экологической точки зрения концепции устойчивого развития // Почвы и окружающая среда : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 55-летию Ин-та почвоведения и агрохимии СО РАН. 2023. С. 523–527.
2. Поляков Ф. А., Бойцов К. К. Обзор международных организаций как механизма достижения целей устойчивого развития ООН // Креативная экономика. 2019. Т. 13, № 10. С. 2133–2140.
3. Макарова В. В. Анализ эволюции концепции устойчивого развития // Экономические науки. 2023. № 10. С. 249–257.
4. Будущее, которого мы хотим. Итоговый документ Конференции ООН по устойчивому развитию. Рио-де-Жанейро, Бразилия. 20–22 июня 2012 г. ООН, 2012. 66 с.
5. Горшков В. Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды / под ред. К. С. Лосева. М. : ВИНИТИ, 1990. 237 с.

GLOBAL CLIMATE CHANGE – A UNIVERSAL INDICATOR OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

V. G. Dvurechensky
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk city, dvu-vadim@mail.ru

Based on the definition of the concept of sustainable development, such development should ensure the satisfaction of the vital needs of the current generation without depriving future generations of the same opportunity. The concept places particular emphasis on three factors, which are considered equally: ecological (the viability of ecosystems, on which the global stability of the entire biosphere, including soil and ecological conditions, depends); social (the well-being of people across the planet); and economic (improving the economic performance of all countries). The concept of sustainable development allows us to demonstrate changes on the planet using indicators. A universal indicator that influences all three factors and reflects the emergence of new challenges to humanity is climate change, along with soil transformation and many other processes. The article emphasizes that some parameters are repeated and included in all three factors, demonstrating their close interconnection. For example, the degradation and destruction of natural landscapes is considered not only an environmental problem but also a social and economic one. Climate change can and should be used as an indicator of sustainable development. This indicator is universal in its application to the concept of sustainable development.

УДК 504.054

ЧТО ДРУГ О ДРУГЕ ГОВОРЯТ РАСТЕНИЯ-ГИПЕРАККУМУЛЯТОРЫ?

Г. В. Клинк[1,2], С. А. Леднев[1,3], А. И. Барбашев[1,4], А. А. Немцева[1,4], И. Н. Семенков[1,3]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева РАН, Москва, ivanov@mail.ru
[2]Высшая школа экономики, Москва
[3]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, semenkov@seogr.msu.ru
[4]Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Введение. В мире возрастает количество отходов и загрязнение окружающей среды разнообразными поллютантами, среди которых тяжелые металлы и металлоиды (ТММ) являются приоритетными. Некоторые растения – гипераккумуляторы способны не только произрастать на субстратах с экстремально высоким содержанием ТММ, но и активно накапливать в своих тканях эти ксенобиотики без последствий для здоровья. Такие растения-гипераккумуляторы представляют большой интерес в сфере биоремедиации. Но их ищут посредством дорогостоящего сопряженного химического анализа почв и растений.

Цель нашей работы – систематизация существующей информации об элементном статусе Покрытосеменных растений для последующего предсказания *in silico* наиболее вероятных видов-гипераккумуляторов ТММ.

Объекты и методы. По материалам оригинальных статей мы создали базу данных о филогении, экологии, биогеографии, морфологических характеристиках и содержании химических элементов в семенных растениях. В неё же включили информацию о сопряженных почвах, свойствах и характеристиках найденных видов растений, и среде их обитания из глобальных баз данных (World Checklist of Vascular Plants; LEDA, BiolFlor и др).

В базе данных Scopus по запросам heavy metals and hyperaccumulator и plant and heavy metals в названии, аннотации и ключевых словах 01.09.2025 найдено 1,6 и 16,8 тыс. результатов соответственно. С помощью функционала платформы Scopus, скриптов на языке «Python», исполненных в среде разработки Spyder (дистрибутив Anaconda), ручной загрузки из Google Scholar получены *pdf-файлы соответствующих работ. Для разметки материала статей использован язык программирования Python, в сложных случаях – нейросетевые онлайн ресурсы. Из *pdf-файлов весь текст извлечен с помощью библиотек PyPDF2 и pdfplumber. Библиотека json использована для работы с данными *json формата, pandas – создания таблицы из полученных *json-файлов и последующей работы с ней, pyodbc – для записи информации из *json-файлов в базу данных Microsoft Access.

После поиска реперных слов и сочетаний обработали табличные данные: выделили наиболее частотные варианты таблиц и уже для них разработали шаблон для последующей разметки. Полезная информация из оставшихся наиболее сложных случаев извлечена с помощью DeepSeek-V3-0324 или вруч-

ную. Для устранения систематических ошибок разметки данные из *json-файлов экспортировали в таблицы формата *xls и выборочно (10–20 %) перепроверяли, сравнивая с оригиналом статьи. API нейронной модели DeepSeek использован для выявления названий растений, которые позднее вручную приводили к общепринятому названию, и извлечения машинно сложно обрабатываемых данных из текста и их структурирования. Является ли растение гипераккумулятором конкретного металла, выполнено вручную по современным принятым пороговым содержаниям.

Для наших задач наиболее информативными и легкими в последующей обработке оказалось 15–20 % статей, содержавших полные данные о содержании ТММ в растениях и почве. В 40–50 % статей искомые данные были в трудно обрабатываемом формате и требовали ручной проверки и дополнительной обработки. В трети публикаций потенциально полезная для нас информация обобщена или отсутствовала.

Итоговая база данных реализована в Microsoft Access и состоит из трех основных блоков таблиц: 1) данные о публикации, регионе работ, элементном составе растений и почв (содержание Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Tl, Zn); 2) таксономия и верификация видов растений (631 вид из 381 рода 106 семейств Покрытосеменных растений по POWO [2]); 3. характеристики видов растений из внешних баз данных.

Для получения однородных и стабильных результатов мы ограничили наш анализ уровнем родов. Род считался гипераккумуляторным, если содержал хотя бы один вид, для которого в какой-либо публикации была показана способность к гипераккумуляции какого-либо элемента. В нашей работе мы сосредоточились на Покрытосеменных (Angiosperms) растениях как кладе с наибольшим числом видов в принципе гипераккумуляторным в частности.

Мы взяли набор данных из [1], содержащий наиболее полный список видов и семейств растений. На основе этого списка мы реконструировали филогенетические деревья на уровне родов и семейств, используя пакет V.PhyloMaker2 для R с опцией «сценарий 3».

Чтобы выяснить, насколько связаны между собой способности к гипераккумуляции разных металл(оид)ов (в одну группу объединены все редкоземельные элементы – РЗЭ), мы провели перестановочный тест. Для каждой пары элементов мы рассчитали фактическое количество общих родов-гипераккумуляторов, а также ожидаемое распределение этого числа с помощью 100 тыс. перестановок. Каждый раз мы отбирали из филогенетического дерева то же количество родов, что и в двух наблюдаемых группах, а затем вычисляли количество общих родов между двумя полученными псевдогруппами. Уровни значимости были скорректированы по методу Бенджамини – Хохберга.

Чтобы понять, сгруппированы ли роды-гипераккумуляторы на филогенетическом дереве, рассчитывали индексы филогенетической кластеризации: 1) индекс чистого родства (Net Relatedness Index, NRI), основанный на вычислении среднего попарного расстояния (MPD) внутри группы таксонов (показывает глобальную кластеризацию); 2) индекс ближайшего таксона (Nearest Taxon

Index, NTI), основанный на вычислении среднего расстояния до ближайшего таксона (MNTD) внутри группы таксонов и отражающий наличие локальных кластеров, которые могут возникать даже при отсутствии тенденции к глобальной кластеризации. Оба индекса являются стандартизированными показателями эффекта, и для их расчёта необходимо получить ожидаемые распределения MPD и MNTD, которые позволяют рассчитать значимость отклонения MPD и MNTD от ожидаемых значений. Мы сгенерировали нулевые распределения для каждого элемента, случайным образом отбирая то же количество видов, что и известных гипераккумуляторов этого элемента, 1000 раз вычисляя для них MPD и MNTD. После этого рассчитали левосторонние и правосторонние значения *p* и стандартизированные эффекты с помощью собственных скриптов на Python.

Результаты и их обсуждение. Способность к гипераккумуляции большинства рассмотренных металл(оид)ов сильно скоррелирована. Сильнее всего у As и Pb: их способность к гипераккумуляции коррелировала с 13 элементами. Гипераккумуляция Ag, РЗЭ и Mo коррелировала меньше всего: выявлено 2, 1 и 0 положительных корреляций соответственно. Отрицательных корреляций не наблюдалось.

Из 417 семейств 48 (из 21 порядка) значительно обогащены гипераккумуляторными родами хотя бы одного элемента (рис. 1). Среди этих семейств 25 обогащены гипераккумуляторными более одного элемента (наиболее выражено у Phytolaccaceae, Pontederiaceae и Portulacaceae: 8 из 16 элементов). Согласно тестам на основе MNTD и MPD, на филогенетическом дереве Покрытосеменных семейства со значительным обогащением гипераккумуляторными родами абсолютного большинства элементов располагаются случайно ($p > 0{,}1$) за исключением Cu (по тесту на MNTD кластеризуются).

Для 9 (Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) из 16 рассматриваемых элементов среднее филогенетическое расстояние до ближайшего рода-гипераккумулятора значимо меньше для известных родов-гипераккумуляторов, чем для родов без известных гипераккумуляторов. Однако филогенетические расстояния сильно перекрывались. То есть расстояние до ближайшего известного гипераккумулятора – плохой предиктор гипераккумуляции, по крайней мере, на уровне родов. Более того, анализ MPD и MNTD не показал значимой кластеризации родов-гипераккумуляторов на филогенетическом дереве ни для одного из элементов, хотя MNTD и MPD < 0 для 9 и 12 элементов соответственно. После ограничения анализа родами из одного семейства, для большинства элементов среднее филогенетическое расстояние между двумя гипераккумуляторными всё ещё было меньше, чем расстояние между гипераккумулятором и не-аккумулятором. Но только для Se эта разница осталась значимой.

Заключение. На основе нашего собственного анализа и совокупности предыдущих исследований мы можем дать следующие ответы на вопросы, которые поставили в работе.

Как эволюционирует способность к гипераккумуляции? Она является легко приобретаемым лабильным фенотипическим признаком. Но для его приобретения требуется предрасположенность, которая развивается поэтапно: сначала глубоко на эволюционном дереве, а потом – на уровне популяции.

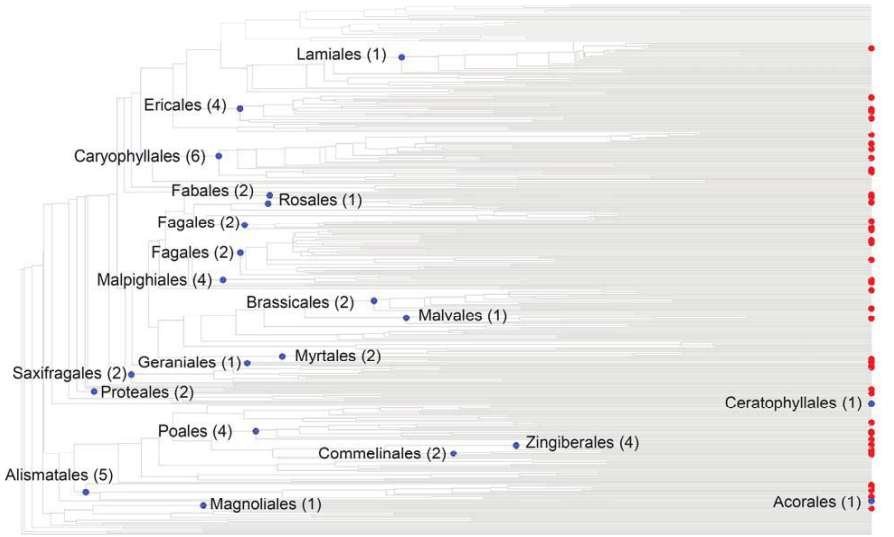


Рис. 1. Расположение семейств, обогащенных растениями-гипераккумуляторами (красные кружки) на филогенетическом дереве. Подписаны только порядки (в скобках – число обогащенных гипераккумуляторами семейств), узел которых отмечен синим кружком

Может ли филогенетическое положение растения помочь предсказать его способность к гипераккумуляции металл(оид)ов? Да, в скрининговых работах. Однако для точного выявления кандидатов следует использовать и другие признаки (экологические, морфологические и генетические).

Коррелируют ли способности к гипераккумуляции разных металл(оид)ов? Да. Гипераккумуляция большинства рассмотренных нами элементов коррелирует, и отрицательных корреляций мы не обнаружили. Гипераккумуляция As и Pb коррелировала с наибольшим числом других элементов, а Ag, РЗЭ и Mo – с минимальным.

Растение, эволюционно близкое к известному гипераккумулятору, с большей вероятностью является гипераккумулятором? Отчасти да. Для 9 химических элементов (Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) из 16 рассмотренных среднее филогенетическое расстояние до ближайшего рода-гипераккумулятора меньше у самих гипераккумуляторов, чем у других родов. Однако при рассмотрении растений из одного семейства эффект значимым только для Se.

Неопределённость в ответах связана с отсутствием систематических исследований гипераккумуляторов из определённых филогенетических клад и территорий. Исследования растений-гипераккумуляторов по своим задачам крайне неоднородны и носят в целом случайный характер – изучение определённой территории и отдельных видов на ней с небольшим вниманием к экологическим особенностям. Даже при компиляции всех доступных материалов, описывающих элементный состав видов Покрытосеменных растений, получить

надёжные оценки пока не удаётся. Кроме того, в анализ следует вовлекать как можно больше химических элементов. В целом мы заключаем, что способность к гипераккумуляции рассмотренных элементов демонстрирует филогенетический сигнал. Хотя он слишком слаб, чтобы его можно было выявить с помощью MNTD или MPD из-за сложной эволюции гипераккумуляции.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 25-24-00343.

Литература

1. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV / Chase M. W. [et al.] // Botanical Journal of the Linnean Society. 2016. Vol. 181. P. 1–20.

2. POWO. 2026. Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew.

WHAT PLANT-HYPERACCUMULATORS TALK ABOUT EACH OTHER?

G. V. Klink[1,2], S. A. Lednev[1,3], A. I. Barbashev[1,4], A. A. Nemtseva[1,4], I. N. Semenkov[1,3]
Isaev Centre for Problems of Forest Ecology and Productivity RAS, Moscow, gklink@hse.ru
Higher School of Education University, Moscow
Lomonosov Moscow State University, Moscow, semenkov@seogr.msu.ru
Southern Federal University, Rostov-on-Don

Hyperaccumulator plants, which can accumulate potentially toxic elements in a concentration without visible damage, are of particular interest for the bioremediation. However, searching for new hyperaccumulators using traditional chemical and analytical methods is labor-intensive and expensive. The aim of this study was to systematize data on the elemental status of Angiosperms and to develop approaches for *in silico* prediction of metal(loid) hyperaccumulation. Using publications indexed in Scopus, we built a database integrating information about the content of 16 elements (Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Tl, Zn, and REEs) in Angiosperms. The database covers 631 species from 381 genera and 106 families. Hyperaccumulation of most elements showed positive correlations; As and Pb had the highest number of significant correlations, while Ag, Mo, and REEs showed the fewest. 48 families from 21 orders were significantly enriched in hyperaccumulators of at least one metal(loid). The strongest enrichment (8 out of 16 elements) was observed in Phytolaccaceae, Pontederiaceae, and Portulacaceae. For nine elements (Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Zn), the mean phylogenetic distance to the nearest hyperaccumulator genus was significantly smaller for hyperaccumulators themselves than for other genera. However, neither the Net Relatedness Index (NRI) nor the Nearest Taxon Index (NTI) revealed significant phylogenetic clustering. When the analysis was restricted to within-family comparisons, the effect remained significant only for Se. Overall, the ability to hyperaccumulate metal(loid)s appears to be a labile phenotypic trait that evolves in a stepwise manner. While phylogenetic position may serve as a useful screening predictor, accurate prediction of hyperaccumulation requires consideration of additional traits. The current fragmentary nature of available data limits the reliability of such predictions.

УДК 631.421(571)

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА И МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ ПАЛЕОКРИОРЕЛЬЕФА

А. А. Козлова[1,2], Ю. А. Аюшинова[1], Е. О. Тюшкевич[1], А. Д. Уткина[1]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск
[2]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
allak2008@mail.ru

Кластерный анализ, метод главных компонент позволяют выявить скрытые закономерности, упростить сложные данные и сделать более точные выводы о состоянии почвенного покрова. Однако в области почвоведения они применяются не так часто, как хотелось бы, что, по-видимому, связано со сложностью объекта исследования – почвой, а также высокой вариативностью действия факторов почвообразования на ее формирование и, особенно, функционирование.

Почвенный округ Южного Предбайкалья [10] согласно почвенному районированию территории бывшего СССР [6] относится к суббореальному поясу, находящийся внутри бореального пояса. На его территории широко распространен палеокриогенный бугристо-западинный микрорельеф. Сформированный в перигляциальных условиях позднего плейстоцена, он вызывает резкую дифференциацию свойств почв. Морфологически он представляет чередование бугров и западин с перепадом высот 1–3,5 м, диаметром 10–20 м в поперечнике [3; 10]. Почвообразовательный процесс, развивающийся на каждом из элементов палеокриогенного комплекса (полигоне-бугре, трещине-западине), значительно различается по серии параметров, и, прежде всего, пространственно-временной организации почвенного покрова, морфологии и свойствам почв. Почвы полигонов-бугров образованы в ненарушенной массе грунта полигонального палеокриогенного блока, а почвы западин развиваются в переотложенном материале межблочных понижений. В их профиле наблюдается один или несколько погребенных гумусовых горизонтов, образование которых относят к оптимуму голоцена, т. е. в биоклиматических условиях отличных от современных. Антропогенное воздействие (распахивание) может, как усиливать различия между почвами бугров и западин за счет усиления контрастности их свойств, так и сглаживать в результате нивелирования поверхности при механической обработке почв [9].

Объектами исследования стали естественные, агро- и постагрогенные дерново-буро-подзолистые почвы отдела текстурно-дифференцированных почв согласно Классификации почв России [7] или светло-серые лесные почвы по Классификации и диагностики почв СССР [8] Южного Предбайкалья, развитые в условиях палеокриогенного бугристо-западинного микрорельефа. Они распространены в подтайге региона, развиваются под светлохвойно-лиственными (сосново-берёзовыми) и разреженными лиственничными лесами с густым травянистым покровом и занимают вершины водоразделов и увалов [10]. Исследо-

вания проводились в 9 км к югу от г. Иркутска по Байкальскому тракту. Три пары сопряженных профильных разрезов были заложены на целине, пашне и залежи на общем склоне западной экспозиции с углом наклона 2–3°, который получает достаточное количество осадков, учитывая неоднородность микрорельефа, представленную элементами палеокриогенного комплекса (буграми и западинами). Образцы почв отбирались из верхнего 20-ти см горизонта в 10-кратной повторности с использованием почвенного бура.

Анализ гидротермических (температура и влажность), агрохимических (pH водной суспензии, содержание гумуса) свойств проводился общепринятыми в почвоведении методами [1; 13]. Изменение биологической активности почв (БАП) определяли в свежих образцах почв с помощью лабораторного экспресс-анализа по Т. В Аристовской и М. В. Чугуновой [2]. Образцы фитомассы растений для подсчета продуктивности фито- и агроценозов отбирались с модельных площадок размером 25×25 см² в четвертой декаде июля и первой декаде августа [12].

В зависимости от принадлежности почв, фито- и агроценозов к угодьям и по элементам микрорельефа с помощью программы Past 4.13. выполнены следующие методы многомерной статистики [4; 5]: кластерный анализ – создание дендрограмм, позволяющих объединить близкие группы; метод главных компоненты – многомерный анализ, используемый для упрощения сложной структуры данных.

Применение метода кластерного анализа, выполненного на основе функциональных расстояний Говера (Gower) позволо сгруппировать объекты на основании сходства их характеристик [14]. Он позволил увидеть, что «Пашня, бугор» и «Залежь, бугор» имеют наиболее тесную связь среди всех исследуемых участков. Эта близость обусловлена особенностями расположения органического вещества на буграх, где есть хороший дренаж и аэрация, а также повышенная температура почвы за счет её прогрева не только сверху, но и со стороны склонов. Такие условия способствуют быстрой минерализации органического вещества и активизации биологических процессов. Возможно, часть гумусовых веществ, в результате интенсификации процессов эрозии, мигрирует с поверхностным стоком в соседние западины, а также вниз по склону. Поэтому оба участка отличаются низким содержанием гумуса. Вместе с тем низкая биологическая активность почвы указывает на возможно интенсивное использование почв, ведущее к заметному снижению их плодородия.

Почва «Пашни, западины» ближе к почвам «Пашни, бугра» и «Залежи, бугра», нежели к «Залежи западины», что свидетельствует о значительном агрогенном воздействии на почву. При этом здесь отмечается большее содержание гумуса и более высокая влажность, что делает почву более плодородной по сравнению с пашней на бугре. В свою очередь, почва «Залежи, западины» ближе к почвам «Пашни» и «Залежи», чем на «Целине». Этот участок демонстрирует более высокие показатели фитомассы, БАП и содержания гумуса, однако они существенно уступают аналогичным показателям почвы на целине. Причины таких низких показателей могут включать, неблагоприятные экологические условия, антропогенные факторы: например, косимая залежь.

Почва «Целины», будучи участком, который никогда не подвергался сельскохозяйственной обработке, сохраняет характеристики естественной антропогенно-ненарушенной почвы и показывает высокую стабильность показателей, как на буграх, так и в западинах, поэтому связь между почвами элементов микрорельефа на целине выше, чем с почвами пашни и залежи. Можно наблюдать выброс одного из разрезов «Залежь, бугор», связанный с почвой «Пашня, западина». Однако при детальном рассмотрении связей между угодьями пашни и залежью выброса не обнаруживается.

Таким образом, хотя на первый взгляд может показаться, что существует прямая зависимость между пашнями в западинах и залежами на буграх, дальнейший анализ показывает, что эта связь скорее случайная и не является определяющей.

Метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) был проведён с целью уменьшения размерности данных путем нахождения новых координатных осей, которые объясняют максимальное количество дисперсии в исходных данных [11]. Он позволил выделить три основные группы угодий, каждая из которых характеризуется своими специфическими почвенными параметрами. Первая группа, состоящая исключительно из целинных участков, что подтверждает их общие характеристики, независимые от рельефа. Результаты показали наиболее выраженную корреляцию с показателями гумуса, фитомассы и биологической активности почвы. Это свидетельствует о том, что целина сохраняет свои природные свойства, обеспечивающие высокую продуктивность и биологическое разнообразие.

Почвы «Пашни» выделяются в отдельную группу, что подчеркивает её уникальные характеристики, обусловленные регулярной сельскохозяйственной деятельностью. Пашня, особенно расположенная на буграх, подвержена значительным колебаниям температуры из-за открытости почв и отсутствия плотного растительного покрова. Регулярные механические обработки усиливают эти колебания. Также пашня требует постоянного ухода и внесения удобрений для поддержания плодородия, так как регулярные уборки урожая и обработки приводят к истощению запасов органического вещества.

Почвы «Залежи» также образует отдельную группу, что указывает на её переходное состояние между целиной и пашней. Так как после вывода почвы из сельскохозяйственного оборота начинается постепенное ее восстановление до уровня естественного состояния, это привело к увеличению содержания органического вещества и улучшение структуры почвы в сравнении с пашней. Но регенерация почвы происходит медленно, что отражается в сниженных значениях гумуса и биологической активности по сравнению с целиной. Наблюдается сходство связей в свойствах почв по элементам палеокриорельефа.

Почвы «Целина, бугор» и «Целина, западина» расположены отдельно от пашни и залежи, при этом почвы пашни и залежи находятся близко друг к другу по показателям и даже пересекаются в некоторых значениях. Почвы «Пашня, бугор» и «Залежь, бугор» также демонстрируют схожесть значений. Почва «Залежь, западина» находится между целиной и пашней. В западине, как правило,

сохраняется большой запас влаги из-за ее плохого дренирования. Здесь наблюдается пышная растительность, накапливается большое количество органического вещества, что способствует увеличению содержания гумуса и улучшению структуры почвы. Это приближает почву к целинному состоянию. Почва «Залежь, бугор» имеет показатели близкие к «Пашне, западине», различаясь только по влажности. Так, на «Пашне в западине», условия для удержания влаги лучше, процессы гумификации и гумусонакопления идут более активно. В то время как на «Пашне бугра» из-за более высоких температур, пониженной влажности процесс накопления гумуса замедляется. В результате интенсификации процессов эрозии идет его снос в соседние западины, что приводит заметному снижению уровня плодородия почвы.

Таким образом, условия, складывающиеся в почве «Пашни, западины» делают её показатели плодородия ближе к показателям почв «Залежи, бугра». Повышенная температура и невысокая влажность помогают эффективному накоплению в них гумуса, которое все-таки ниже, чем в почвах «Целины, бугра» и «Целины, западины».

В целом из всего вышеизложенного можно сделать выводы:

1. Применение современных методов математической статистики к анализу гидротермических, агрохимических и биологических свойств дерново-буроподзолистых почв Южного Предбайкалья позволило выявить зависимости между почвенными показателями, связанными с положением по микрорельефу, угодьям и складывающимися там условиями почвообразования.

2. Кластерный анализ показал, что наиболее плодородными являются почвы угодий «Целина» и «Залежь» с микрорельефом «Западина». Однако почвы других угодий и элементов микрорельефа также могут быть эффективно использованы для сельского хозяйства при правильном применении агротехнических приемов, например точного земледелия.

3. Метод главных компонент помог сократить количество исходных переменных до нескольких основных факторов, объясняющих большую часть дисперсии данных. Это облегчило анализ и интерпретацию сложных многомерных данных, позволив увидеть, какие участки имеют схожие характеристики и какие факторы наиболее важны для описания их свойств.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (№ госрегистрации темы 126020516558-5).

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв: Руководство / под ред. А. В. Соколова. М. : Наука, 1975. 656 с.

2. Аристовская Т. В., Чугунова М. В. Экспресс-метод определения биологической активности почвы // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.

3. Воробьева Г. А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 205 с.

4. Геоинформационные системы в почвоведении и экологии. Интерактивный курс / Ю. Л. Мешалкина [и др.]. М. : РГАУ-МСХА, 2010. 95 с.

5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. М. : Высш. шк., 2004. 479 с.

6. Добровольский Г. В., Урусевская И. С., Розов Н. Н. Карта почвенно-географического районирования СССР для высшей школы. М. : Изд-во МГУ, 1983

7. Классификация почв России. URL: http://soils.narod.ru/ (дата обращения: 07.04.2026).

8. Классификация и диагностика почв СССР / сост.: В. В. Егоров [и др.]. М. : Колос, 1977. 223 с.

9. Козлова А. А. Разнообразие почв Южного Предбайкалья в условиях палеокриогенного микрорельефа, их трансформация при агропедогенезе : автореф. дис. … д-ра биол. наук : 03.02.13. Иркутск, 2021. 44 с.

10. Кузьмин В. А. Почвы Предбайкальского участка зоны БАМ // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования в зоне БАМ. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1980. С. 11–98.

11. Померанцев А. Метод главных компонент (PCA) // Российское хемометрическое общество. URL: https://rcs.chemometrics.ru/ (дата обращения: 07.04.2026).

12. Программа и методика биогеоценотических исследований. М. : Наука, 1974. 401 с.

13. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.

14. Торопчина Г. Н., Двоерядкина Н. Н., Вохминцева Г. П. Элементы кластерного анализа : учеб. пособие. Благовещенск : Амур. гос. ун-т, 2006. 42 с.

APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS AND PRINCIPAL COMPONENT METHOD TO STUDY SOILS OF THE SOUTHERN CIRCUIT-BAIKAL REGION UNDER PALEOCRYORELIEF CONDITIONS

A. A. Kozlova[1], Yu. A. Ayushinova[1], E. O. Tyushkevich[1], A. D. Utkina[1]
Irkutsk State University, Irkutsk
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk
allak2008@mail.ru

The article discusses the methods of mathematical statistics using the example of dynamic (hydrothermal, agrochemical and biological) properties of soddy-brown-podzolic soils of the Southern Gis-Baikal region. They are developed in the conditions of hummocky-hollow paleocryogenic microrelief and are in virgin, arable and fallow states. Using the Past 4.13 program, cluster analysis (to create dendrograms that allow combining similar groups) and the principal component analysis (PCA) multivariate analysis used to simplify the complex structure of the data were performed. The use of modern methods of mathematical statistics made it possible to establish connections and dependencies between various soil parameters, which made it possible to identify indicators that have the greatest impact on soil fertility and health, as well as to detect problem areas that require special attention.

УДК 631

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ РИЦИНСКОГО РЕЛИКТОВОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА (АБХАЗИЯ)

П. В. Кузнецов[1], С. Л. Куклина[2], Е. В. Чупарина[1]

[1]Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск, petr-kp@mail.ru
[2]Иркутский государственный университет, Иркутск

Изучение компонентов окружающей среды на охраняемых природных территориях имеет важное научное и практическое значение, в связи с тем, что на них минимизировано влияние антропогенного фактора. К таким территориям относится Рицинский реликтовый национальный парк (РРНП), созданный в 1996 г. на основе Рицинского заповедника и расположенный на южном склоне Главного Кавказского хребта (Абхазия).

Исследования на территории РРНП [3] проводились длительное время и были преимущественно посвящены изучению биологического разнообразия. О современном изучении почв РРНП мало сведений, хотя такие исследования, несомненно, проводились, в том числе в регионе Центрального Кавказа [1]. В связи с недостаточной изученностью исследование химического состава почв РРНП, а также геохимической обстановки в целом является актуальной задачей.

Целью исследований являлась оценка химического состава почв Рицинского реликтового национального парка, выявление почвенно-геохимических аномалий, особенностей взаимосвязи химических элементов.

Исследования проводились в 2019 г. сотрудниками и студентами кафедры почвоведения Иркутского государственного университета. Всего было выполнено 12 почвенных разрезов (рис.). Образцы почв отбирались по генетическим горизонтам. Химический анализ образцов проводился в аккредитованной лаборатории Института геохимии СО РАН.

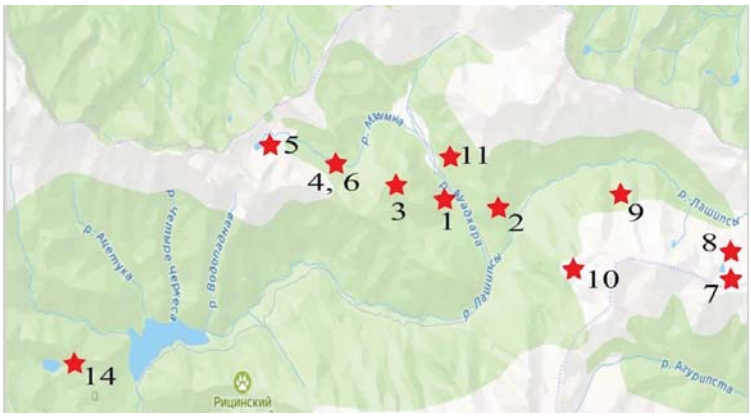


Рис. Схема расположения почвенных разрезов на территории РРНП

Согласно ранее проведенным исследованиям, почвообразующими породами [2] в северной части территории являются магматические кислые горные породы (плотные), и осадочные рыхлые карбонатные горные породы (кора выветривания грубая) – в южной части. Ранее на изучаемой территории были выделены горно-луговые дерновые почвы, горно-луговые дерново-карбонатные почвы, а также бурые лесные и рендзино-бурые лесные почвы [5], которые приблизительно соответствуют темно-гумусовым почвам и бурозёмам согласно классификации почв 2008 г. [4]. Полевые работы выявили разнообразие почвенного покрова (номер разреза): под лесной растительностью развиты бурозёмы типичные (1, 3) и темно-гумусовая остаточно карбонатная почва (14); под альпийскими лугами развиты литоземы (5, 7) и стратоземы (8) темногумусовые, серогумусовая типичная (4); под субальпийскими лугамивыявлены влажные почвы – стратоземы перегнойно-темногумусовые (11, 12), перегнойно-глеевая (6) и торфяно-эутрофная (10).

Определение содержаний макро и микроэлементов в почвах проводили методом рентгено-флуоресцентного анализа на волнодисперсионном рентгеновском спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия). Для определения макрокомпонентов в почвах использовали способ сплавления со смесью метабората и тетрабората лития в соотношении 1:15. Содержание микроэлементов измеряли методом РФА из прессованных таблеток. Предел обнаружения микроэлементов в почвах составил, мас. %: Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb и Sr – 0,0005; Nb – 0,0007; Y, Zr и Pb – 0,001 и Ba – 0,005.

Содержание породообразующих элементов отражает минеральный состав почв и почвообразующих пород, а также определяет геохимическую среду, в которой происходят процессы миграции и аккумуляции микроэлементов. Изучение почв показало разнообразие их содержаний в зависимости от состава почвообразующих пород и других факторов (табл. 1). По содержанию кремнезема, почвообразующими породами, вероятно, служат не только кислые, как отмечалось ранее, но и основные породы. Например, литозем темно-гумусовый метаморфизованный (разрез 5) содержит характерное для основных пород количество кремнезема (38–44 %), а также характеризуется высоким содержанием MgO (5–10 %) и его преобладанием над CaO (3,6–5,5 %). Со сменой почвообразующих пород также связан химический состав темно-гумусовой остаточно карбонатной почвы (разрез 14), в которой наблюдается максимальное содержание CaO – 33,7 %. Также изученные почвы характеризуются низким содержанием Na_2O.

Результаты определения микроэлементов в почвах (табл. 2) показали широкую вариабельность их содержаний. Некоторые почвы обогащены элементами: Cr, Mn, Co, Ni, Zn, As, Rb и Pb по сравнению с их средним содержанием в почвах мира (Kabata-Pendias A., 2010). Корреляционный анализ показал, что содержание хрома, никеля и стронция взаимосвязано с содержанием магния (Ккор. = 0,83). Этим обусловлено наиболее высокое содержание этих элементов (от верхнего горизонта к нижнему, мг/кг) (Cr – 239–315; Ni– 84–169; а также Co – 19–36 и Cu – 43–121) в почве разреза № 5, в котором, как было отмечено выше, характеризуется высоким содержанием магния. Повышенное содержание указанных элементов связанно с наследованием состава почвообразующей породы. О чем свидетельствует также закономерное увеличение их содержания с глубиной профиля.

Таблица 1

Статистические параметры распределения породообразующих элементов в почвах, %

Элемент	Диапазон содержаний	Медиана	Среднее
Na_2O	< ПО* – 2,83	1,23	1,26
MgO	0,15–10,7	1,67	2,05
Al_2O_3	1,8–18,6	15,7	14,3
SiO_2	5,2–63,2	48,9	44,8
K_2O	0,19–2,85	1,83	1,68
CaO	0,14–33,7	1,08	2,51
TiO_2	0,11–1,43	0,86	0,79
$Fe_{Общ.}$	1,03–9,46	7,48	6,62
ППП**	5,1–88,9	16,7	25,7

*ПО – предел определения элемента; **ППП –потери при прокаливании.

Таблица 2

Статистические параметры распределения некоторых микроэлементов в почвах, мг/кг

Элемент	Диапазон содержаний	Медиана	Среднее	Среднее содержание в почвах мира (диапазон) [6]
P	467–3168	1038	1135	
Cr	20,5–315	102	111	60
Mn	108–3446	1278	1315	488 (411–550)
Co	10,9–36	19,7	20,3	10
Ni	15,5–169	49,5	53,5	29 (13–37)
Cu	9,6–121	43	43	38,9 (14–109)
Zn	14,7–168	105	96	70 (60–89)
As	< 10–33	21	20	6,83 (<0,1–67)
Rb	10–144	91	86	50 (18–116)
Sr	40–220	80	92	147 (130–240)
Y	10–37	24	23,4	12 (7–60)
Zr	60–270	161	160	70–200
Nb	10–26	15	15,6	12,5
Ba	100–470	335	329	362–580
Pb	10,4–52	24	26	27 (3–90)

Накопление элементов группы железа (Cr, Mn, Co, Ni) в почвах может быть связано не только с почвообразующими породами, но и с почвообразовательными процессами. Во многих изученных почвах при полевых исследованиях были отмечены железо-марганцовые новообразования – затеки, конкреции, являющиеся отличным барьером для накопления некоторых металлов.

Отмечается взаимосвязь группы элементов – железа и алюминия с одной стороны – марганца, меди и цинка – с другой. Коэффициенты корреляции варьируют от 0,7 до 0,9. Установлены также взаимосвязи содержания Rb в почвах с содержанием калия (Ккор. составил 0,89), а свинца с цирконием. При этом свинец преимущественно накапливается в верхней части профиля почв, что может быть связано с дополнительным источником его поступления из атмосферы.

Отметим накопление мышьяка, который не показывает значимых взаимосвязей с другими элементами. При этом его внутрипрофильное распределение в большинстве случаев достаточно однородно, за исключением темно-гумусовой остаточно карбонатной почвы (разрез 14), в котором содержание As резко диф-

ференцировано внутри профиля с максимальным накоплением в гумусовом горизонте (33 мг/кг) и низким содержанием (< 10 мг/кг) в минеральных. Несмотря на отсутствие корреляции с другими элементами, источником мышьяка также, вероятно, являются почвообразующие породы.

Пространственное распределение элементов в почвах выявляет ряд особенностей, также обусловленное пространственным распределением почвообразующих пород. Например, повышенное содержание связанных с магнием хрома и никеля, а также некоторых элементов группы железа приурочено к разрезам 1–6, расположенных севернее долины р. Лашипсе. Фоновым содержанием этих элементов и мышьяка характеризуются почвы разрезов 7–9, приуроченным к амфитеатру южнее р. Лашипсе.

Таким образом, изучение химического состава почв РРНП показало его разнообразие, связанное с разнообразием почвообразующих пород и факторов почвообразования. По составу некоторых почв можно предположить, что почвообразующими породами служатне только кислые, но иосновные породы. Почвы обогащены элементами: Cr, Mn, Co, Ni, Zn, As, Rb и Pb по сравнению с их средним содержанием в почвах мира. В большинстве случаев это обусловлено наследованием состава почвообразующих пород, что подтверждается корреляционным анализом и характером распределения элементов в профиле и пространстве. Тем не менее требуется проведение комплексных эколого-геохимических исследований в системах почва-порода, почва-вода, атмосфера-почва, почва-растение, позволяющих установить источники некоторых элементов, их миграцию и аккумуляцию в изучаемых ландшафтах.

Литература

1. Волокитин М. П. Горно-луговые почвы Центрального Кавказа и влияние растительности на их формирование // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14, № 5. С. 36–44.

2. Карта почвообразующих пород Грузинской ССР [Карты] / сост. и подгот. к печати ф-кой № 8 ГУГК в 1984 г. ; ред. Н. А. Гогичашвили. 1:1 500 000, 15 км в 1 см. М. : ГУГК, 1984. 1 л.

3. Летопись природы – 2016 / Кабинет министров Республики Абхазия. Рициский реликтовый национальный парк., г. Гудаута, 2016. 51 с.

4. Полевой определитель почв России. М. : Почв. ин-т им В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

5. Почвенная карта Грузинской ССР [Карты] / сост. и подгот. к печати ф-кой № 8 ГУГК в 1984 г. : ред. Н. А. Гогичашвиили. 1:800 000, 8 км в 1 см. М. : ГУГК, 1984. 1 л.

6. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, USA: CRS Press/ Taylor & Francis Group, 2010. 548 p.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SOILS OF THE RITSINSKY RELICT NATIONAL PARK (ABKHAZIA)

[1]P. V. Kuznetsov, S. L. Kuklina[2], E. V. Chuparina[1]
[1]Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk
[2]IrkutskStateUniversity, Irkutsk

The chemical composition of some soils in the Ritsa Relict National Park has been studied. The soils are enriched with elements such as Cr, Mn, Co, Ni, Zn, As, Rb, and Pb, compared to their average content in the global soils. This is due to the inheritance of the chemical composition of the soil-forming rocks by the soils. This is indicated by the correlation coefficients between trace elements and rock-forming elements, as well as the intra-soil and spatial distribution of elements.

УДК 574.64:546.3:004.942

ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (КРИГИНГ) И ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В ГОРОДАХ СВИРСКЕ И ЧЕРЕМХОВО (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

О. В. Кузьминова, Т. М. Янчук

Иркутский государственный университет, Иркутск
anacreonte@yandex.ru

Оценка риска загрязнения тяжёлыми металлами для здоровья населения, прежде всего детей, является одной из приоритетных задач городской экологии. Особую опасность для детей представляют свинец, мышьяк, никель, хром – элементы с доказанной токсичностью и онкогенным потенциалом, поступающие в организм преимущественно через пероральный и ингаляционный пути при контакте с загрязнённой почвой и пылью [1]. По классификации МАИР, кобальт металлический и его растворимые соли отнесены к группе 2А, вероятно канцерогенны для человека [5]. Пространственная интерполяция по точечным данным опробования является эффективным инструментом для создания непрерывных карт распределения загрязнителей и зонирования территории по степени риска [3].

Цель работы – применить методы пространственной интерполяции (IDW и ординарный кригинг) в среде QGIS для сравнительного картирования зон риска загрязнения As, Pb, Ni и Cr в г. Свирске и г. Черемхово Иркутской области.

Для исследования выбраны два города Иркутской области с различной историей промышленного загрязнения. Город Свирск (~15 тыс. жителей) расположен на берегу р. Ангары, в 1930 – 1949 гг. здесь работал Ангарский металлургический завод (АМЗ), производивший мышьяк и компоненты химического оружия; в 1938 – 2004 гг. действовал аккумуляторный завод «Востсибэлемент» (ВСБ) – источник свинцового загрязнения. Несмотря на рекультивацию площадки АМЗ в 2013 г., почвы прилегающих садоводческих товариществ сохраняют высокий уровень загрязнения [4]. Пробы отбирались в СНТ «Багульник» (n = 11) и на детских площадках жилой зоны (n = 11). Город Черемхово (~52 тыс. жителей) – исторический центр угольной добычи Иркутского бассейна. Основные источники загрязнения – интенсивный грузовой трафик, угольные котельные и объекты металлообработки. Пробы отбирались на детских площадках и в зонах отдыха жилых кварталов (n = 24).

Отбор проб выполнен в сентябре 2025 г.; координаты точек фиксировались с помощью GPS. Валовое содержание As, Pb, Ni, Cr, Co, Zn, Cu определено методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре S4 Pioneer (Bruker, Германия) в Институте геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН; правильность подтверждена стандартным образцом CRM IAEA-158. Содержание Hg определено атомно-абсорбционным методом на анализаторе РА-915М с

приставкой ПИРО-915+ по ПНД Ф 16.1:2:2.2.80-2013; контроль – стандартные образцы СЧТ-3 и СДПС-2.

Пространственная интерполяция выполнена в QGIS (версия 3.x) двумя независимыми методами. Метод обратно-взвешенных расстояний (IDW) реализован через стандартный инструмент QGIS; параметры: степень p = 2, число ближайших точек = 12. Ординарный кригинг выполнен в модуле SAGA GIS; для каждого элемента строилась экспериментальная семивариограмма и подбиралась теоретическая модель (сферическая или экспоненциальная). Кригинг учитывает пространственную автокорреляцию данных и позволяет оценивать погрешность предсказания в каждом узле сетки [3]. Разрешение растров – 10×10 м; топографическая основа – OpenStreetMap. Суммарный показатель загрязнения рассчитан по формуле $Zc = \Sigma(C_i / ПДК_i) - (n-1)$, где $n = 4$ (As, Pb, Ni, Cr). Карты IDW верифицированы методом ординарного кригинга (SAGA GIS).

Сводные данные по концентрациям элементов в почвах обоих городов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Концентрации тяжёлых металлов, мышьяка и ртути в почвах г. Свирска (СНТ «Багульник») и г. Черемхово, сентябрь 2025 г.

Элемент	Свирск: макс (мг/кг)	Свирск: среднее (мг/кг)	Черемхово: макс (мг/кг)	Черемхово: среднее (мг/кг)	ОДК / ПДК (мг/кг)
As	175,7	79,6	9,8	8,1	2,0
Pb	134,8	107,4	62,1	32,4	32,0*
Ni	73,4	55,7	56,5	47,2	20,0*/80**
Cr	132,8	103,8	97,5	80,0	100,0 (CrIII)
Co***	*16,9*	*15,4*	*22,3*	*13,4*	*5,0*
Zn	*245,5*	*180,3*	*613,9*	*227,5*	*55,0*/220***
Hg	*1,12*	*0,15*	*0,16*	*0,07*	*2,1*

* Использованы нормативы для песчаных и супесчаных почв, преобладающих в селитебной зоне городов, а также ** для суглинистых почв с учётом pH (СНТ «Багульник», pH > 5,5). *** Для Co приведён норматив для подвижных форм (валовое содержание, как правило, выше). Курсив – элементы, не включённые в карты зон риска.

Применение двух методов пространственной интерполяции (IDW и ординарный кригинг) в QGIS позволило построить согласованные карты зон риска для двух городов с принципиально различными геохимическими профилями (рис. 1, 2). Почвы г. Свирска (СНТ «Багульник») характеризуются мышьяково-свинцово-хромовым профилем загрязнения, прямо связанным с историческим наследием АМЗ и ВСБ [4]. Мышьяк является приоритетным поллютантом, превышение ОДК (2 мг/кг) составляет от 8 до 88 раз, все точки многократно перекрывают порог риска для детей [2]. В Свирске максимальные концентрации хрома (132,8 мг/кг) и никеля (73,4 мг/кг) выше норматива ОДК в 1,3 и 3,7 раза соответственно; вносят существенный вклад в суммарное загрязнение почв, наибольшие их показатели выявлены на детских площадках. Содержание свинца ниже порога EPA 200 мг/кг для экстренных мер, однако при постоянном поступлении с овощами его суммарная нагрузка на организм детей остаётся высокой.

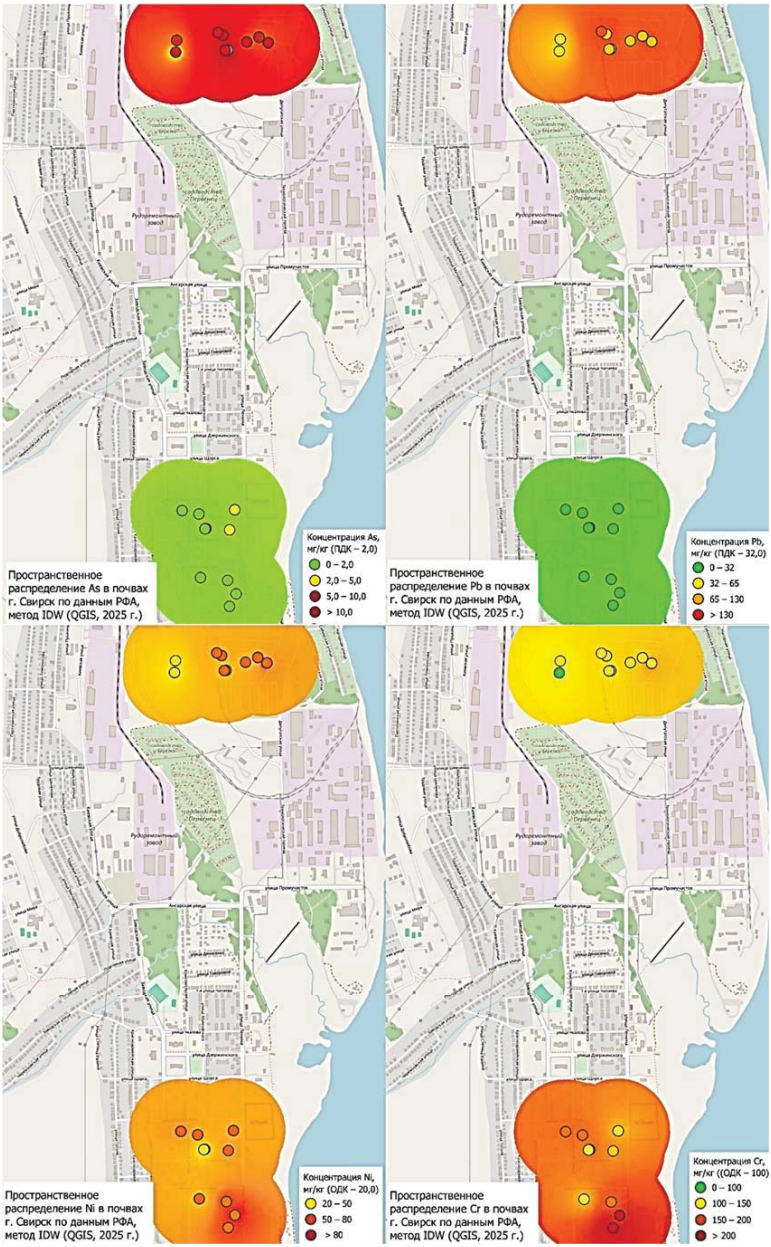
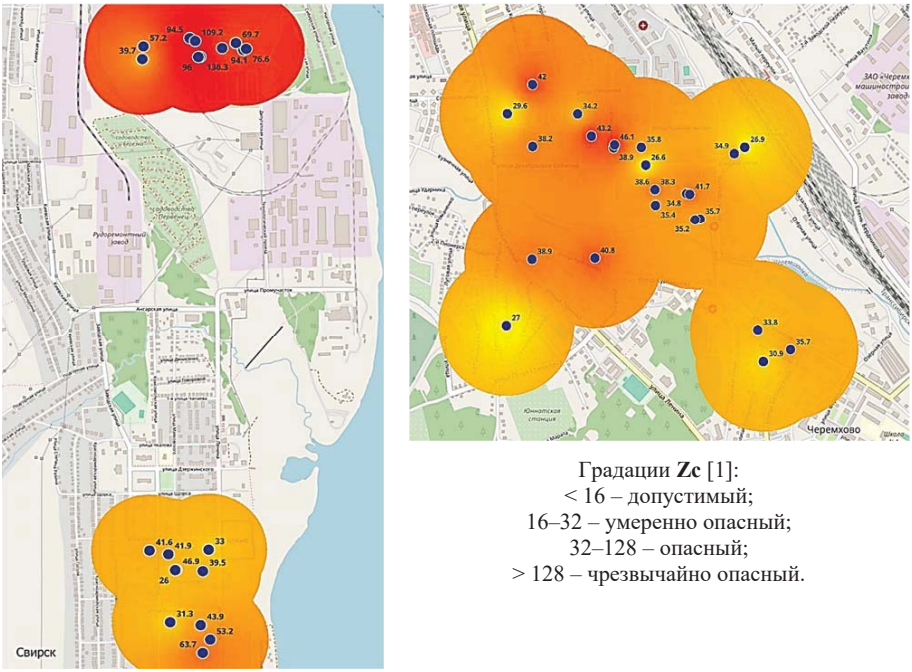


Рис. 1. Пространственное распределение As, Pb, Ni и Cr в почвах г. Свирска по данным РФА, метод IDW (QGIS, 2025 г.)



Градации **Zc** [1]:
< 16 – допустимый;
16–32 – умеренно опасный;
32–128 – опасный;
> 128 – чрезвычайно опасный.

Рис. 2. Карты суммарного показателя загрязнения Zc по г. Свирску (слева) и г. Черемхово (справа) (QGIS, 2025 г.)

Почвы г. Черемхово демонстрируют никель-свинцово-цинковый профиль, связанный с транспортной нагрузкой и угольной теплоэнергетикой (табл. 1). Содержание мышьяка (3–5 ОДК) значительно ниже, чем в Свирске (8–88 ОДК), однако все точки превышают российский норматив. В Черемхово показатели по хрому (97,5 мг/кг) находятся в пределах норматива, а никель (56,5 мг/кг) превышает его в 2,8 раза, последний формирует основной вклад в суммарное загрязнение почв (табл. 1). Аномально большая концентрация цинка (613,9 мг/кг) выявлена в одной пробе в районе ул. Некрасова, что может быть связано с транспортной нагрузкой.

Суммарный показатель загрязнения (Zc) по четырём приоритетным элементам (As, Pb, Ni, Cr) выявляет существенные различия между городами (рис. 2). В Свирске все точки СНТ и некоторые детские площадки попадают в категории «опасная» и «чрезвычайно опасная» (Zc = 40–136), максимальный показатель – близ бывшей промплощадки АМЗ (Zc = 136,3). В Черемхово значения Zc = 27–41, что соответствует «умеренно опасной» и «опасной» категориям. Карты суммарного загрязнения наглядно показывают, что в Свирске максимальные показатели загрязнения приурочены к западной части СНТ, примыкающей к бывшей промплощадке и на некоторых детских площадках; в Черемхово повышенные значения локализуются вдоль транспортных магистралей.

Кобальт присутствует во всех пробах почв в концентрациях 9,7 – 22,3 мг/кг (валовое содержание). Норматив для **подвижных форм** кобальта составляет 5,0 мг/кг и естественно, что его **валовое** содержание закономерно превышает эту величину. В обоих городах кобальт демонстрирует равномерное фоновое превышение ОДК без пространственной дифференциации, что отражает скорее особенности регионального геохимического фона Иркутского угольного бассейна. Из-за канцерогенной опасности кобальта эти показатели требуют пристального внимания и отдельной гигиенической оценки [5]. Ртуть не превышает ПДК (2,1 мг/кг) ни в одной точке Черемхово и лишь в Свирске единично выявлена аномалия (1,12 мг/кг), поэтому её исключили из перечня элементов для составления карт зон риска, так же как и кобальт. Таким образом, сравнение методов IDW и ординарного кригинга показало удовлетворительное совпадение карт, что подтверждает корректность выбранных методов интерполяции.

Литература

1. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / ИМГРЭ. М., 1982. 112 с.

2. U. S. Environmental Protection Agency. Regional Screening Levels (RSLs) for Chemical Contaminants at Superfund Sites. Washington, DC: U. S. EPA, 2025. URL: https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels.

3. Шаров П. О. Использование метода пространственной интерполяции для картирования зон риска отравления свинцом в п. Рудная Пристань Приморского края. Владивосток : ДВГУ., 2003.

4. Кузьминова О. В., Пройдакова О. А., Янчук Т. М. Оценка степени загрязнения тяжёлыми металлами компонентов природной среды г. Свирска (Иркутская область) // Известия ИГУ. Серия: Биология. Экология. 2015. Т.11.С. 42–56.

5. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. Volume 131: Cobalt, Germanium, Indium, and Vanadium. Lyon : IARC, 2023.

ELEMENTS OF GEOSTATISTICAL ANALYSIS (KRIGING) AND GIS MODELING OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS AND ARSENIC IN THE CITIES OF SVIRSK AND CHEREMKHOVO (IRKUTSK REGION)

O. V. Kuzminova, T. M. Yanchuk
Irkutsk State University, Irkutsk, anacreonte@yandex.ru

GIS-based spatial interpolation (IDW and ordinary kriging in QGIS/SAGA) was applied to point-source data on As, Pb, Ni, Cr, Co, Zn and Hg concentrations in soils of two contrasting industrial cities of Irkutsk region – Svirsk (arsenic-lead profile, former chemical weapons plant) and Cheremkhovo (nickel-chromium-lead profile, coal industry and transport). Risk-zone maps and the cumulative pollution index Zc were constructed for As, Pb, Ni and Cr; cobalt, zinc and mercury were assessed separately due to uniform distribution or absence of systematic exceedances.

УДК 504.064.2.001.18

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В ПОЧВЕННЫХ И РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМ Г. СВИРСКА

О. В. Кузьминова[1], Т. М. Янчук[1], Е. В. Чупарина[2], А. Д. Кутенкова[1]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск, panytm@mail.ru
[2]Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск, lchup@igc.irk.ru

Город Свирск (Иркутская область) – один из наиболее экологически неблагополучных городов Байкальского региона. На период 1990-х и 2000-х гг. ситуация была критической, город называли «мышьяковый Чернобыль» из-за высокого загрязнения почвы и грунтовых вод мышьяком. Это создавало угрозу для здоровья жителей и экосистемы реки Ангары. Основными источниками загрязнения природной среды были два крупных промышленных объекта: Ангарский металлургический завод (АМЗ), специализировавшийся на производстве триоксида мышьяка и компонентов химического оружия (люизит, адамсит), а также аккумуляторный завод «Востсибэлемент» (ВСБ) – источник поступления свинца и кадмия в городскую среду [1]. В 2013 г. в рамках государственной программы ликвидации химического оружия проведена рекультивация площадки АМЗ, однако многолетние исследования показывают, что почвы прилегающих жилых и садоводческих зон сохраняют высокий уровень полиэлементного загрязнения [1–4]. Особую угрозу для здоровья населения представляют садовые некоммерческие товарищества (СНТ), расположенные непосредственно у бывших промплощадок: выращиваемые здесь овощные культуры регулярно употребляются в пищу местными жителями. Не менее актуальна оценка состояния детских игровых площадок города, где дети испытывают прямую контактную нагрузку через почвенно-пылевой путь поступления токсикантов.

Цель работы – провести сравнительную оценку содержания тяжёлых металлов и мышьяка в почвах СНТ «Багульник» и на детских площадках г. Свирска, а также в растениях (картофель), выращенных на территории СНТ, по результатам полевого сезона 2025 г.

Материалом для исследования послужили отобранные в 2025 г. с участков СНТ «Багульник» 10 целевых и 8 сборных проб почвы (глубина 0–5 см), 8 проб клубней и ботвы картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с тех же участков, а также 10 проб песка с детских площадок в жилой зоне г. Свирска. Определение валового содержания Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Sr выполнено методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре S4 Pioneer (Bruker, Германия) в Институте геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН. Содержание общей ртути (Hg) определялось методом атомной абсорбции на анализаторе РА-915М с приставкой ПИРО-915+ по ПНД Ф 16.1:2:2.2.80-2013. Правильность результатов РФА подтверждена анализом стандартного образца CRM IAEA-158.

Сравнительный анализ загрязнения почв садоводства и песка детских площадок выявил принципиально различный характер загрязнения (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в почвах СНТ «Багульник» и на детских площадках (ДП) г. Свирска, 2025 г.

Элемент	Почвы СНТ «Багульник», макс. (мг/кг)	Почвы СНТ «Багульник», среднее (мг/кг)	Песок ДП* г. Свирска, макс. (мг/кг)	Песок ДП*, среднее (мг/кг)	ОДК / ПДК (мг/кг)
As	175,7	79,6	3,4	3,3	2,0
Pb	134,8	107,4	18,3	14,6	32,0**
Ni	73,4	55,7	72,7	59,6	20,0**
Zn	245,5	180,3	63,5	49,3	55,0 / 110,0**
Cr	132,8	103,8	277,5	156,9	100,0**
Hg	1,12	0,15	–	–	2,1

* ДП – детские площадки; ** ОДК для суглинистых и глинистых почв с pH > 5,5. «–» – определени е не проводилось.

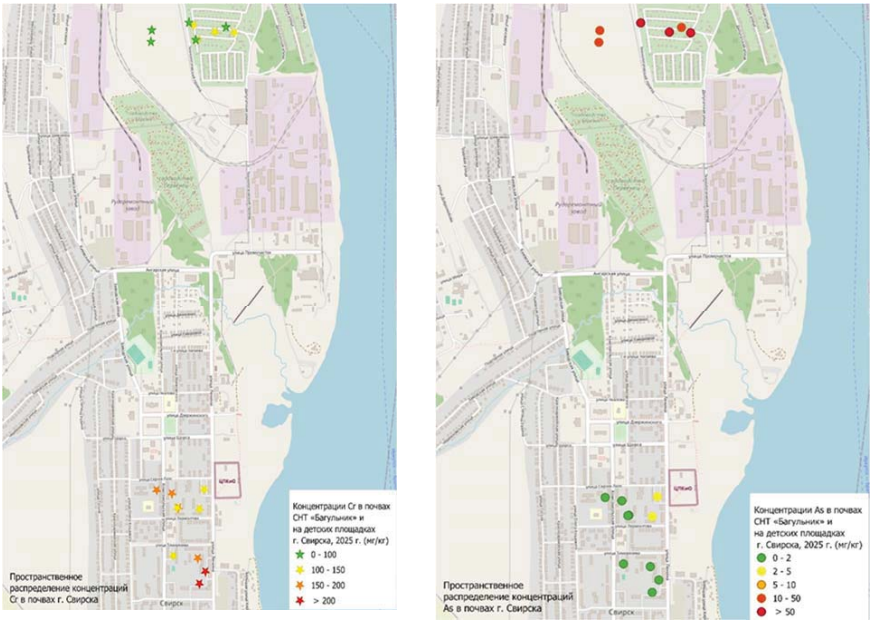


Рис. 1. Пространственное распределение концентраций мышьяка и хрома в почвах г. Свирска по данным РФА (ГИС, 2025 г.)

В почвах СНТ «Багульник» доминирующими загрязнителями являются мышьяк и свинец – поллютанты, ассоциированные с деятельностью АМЗ и ВСБ соответственно. Максимальная концентрация мышьяка составила 175,7 мг/кг, что превышает ОДК (2 мг/кг) в 88 раз, среднее значение по выборке – 79,6 мг/кг (в 40 раз выше нормативных). Содержание свинца достигает 134,8 мг/кг при ПДК 32 мг/кг (превышение в 4 раза); Ni – 73,4 мг/кг при ОДК

20 мг/кг (в 3,7 раз); Zn – 245,5 мг/кг при ОДК 55 мг/кг (в 4,5 раза). Ртуть превысила ПДК (0,47 мг/кг) лишь в одной пробе: 1,12±0,34 мг/кг (участок вблизи деревянной тропинки, дом № 63), в остальных образцах ртуть варьировала в пределах 0,044–0,160 мг/кг.

Песок детских площадок демонстрирует принципиально иную картину: концентрации мышьяка в нём не превышают порогового значения (< 3 мг/кг) в большинстве проб, содержание свинца низкое (8,4–18,3 мг/кг), Zn – в пределах нормы (34–64 мг/кг). Однако по никелю и хрому картина иная: среднее содержание Ni в песке (59,6 мг/кг) сопоставимо с почвами СНТ (55,7 мг/кг) и в 3 раза превышает ОДК; Cr достигает 277,5 мг/кг, что при ОДК 100 мг/кг означает превышение норматива в 2,8 раз.

Таким образом, детские площадки формируют специфический никель-хромовый тип загрязнения. Высокие концентрации этих элементов (Ni – 59,6 мг/кг, Cr – до 277,5 мг/кг) могут быть обусловлены как исходным минеральным составом привозного песка, так и дополнительным поступлением с атмосферной пылью от промышленных предприятий, что подтверждается сопоставимостью уровня никеля с техногенно-загрязнёнными почвами СНТ.

В растительных компонентах наиболее высокие концентрации токсикантов закономерно сосредоточены в листьях ботвы картофеля (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в органах картофеля (*Solanum tuberosum* L.), СНТ «Багульник», г. Свирск, 2025 г.

Элемент	Листва, макс. / среднее (мг/кг)	Кожура клубня, макс. / среднее (мг/кг)	Мякоть клубня, макс. / среднее (мг/кг)	МДУ (мг/кг)
As	9,9 / 5,8	6,5 / 2,1	0,6 / 0,5	0,2
Pb	10,9 / 7,3	9,2 / 3,9	1,9 / 0,9	0,5
Ni	3,6 / 2,1	2,9 / 1,9	2,0 / 1,8	0,5
Zn	25,4 / 21,8	55,4 / 28,3	24,8 / 18,8	10,0
Hg	0,072 / 0,047	0,012 / 0,005	0,004 / 0,003	0,02

Содержание мышьяка в листве достигает 9,9 мг/кг, что в 50 раз превышает максимально допустимый уровень (МДУ = 0,2 мг/кг); Pb – 10,9 мг/кг (МДУ 0,5 мг/кг; в 22 раза); Ni – 3,6 мг/кг (ориентировочно* в 7 раз выше норматива 0,5 мг/кг). В кожуре клубня As варьирует от 0,5 до 6,5 мг/кг (среднее 2,1 мг/кг), Pb – от 1,6 до 9,2 мг/кг (среднее 3,9 мг/кг), что также многократно превышает нормативы для продовольственного сырья. В мякоти клубня концентрации заметно ниже, однако мышьяка (до 0,6 мг/кг) и свинца (до 1,9 мг/кг) по-прежнему превышают МДУ. Цинк в кожуре клубня достигает 55,4 мг/кг (ориентировочно[1] в 5,5 раза выше норматива – 10,0 мг/кг). По ртути превышения МДУ (0,02 мг/кг) зафиксированы во всех пяти пробах листьев ботвы (0,023–0,072 мг/кг), в клубнях ртути содержится ниже норматива. Убывание накопления поллютантов по органам растения соответствует ряду: листья > кожура

[1] Использован норматив для хлеба и круп в качестве ориентира ввиду отсутствия прямых нормативов для картофеля.

клубня > мякоть клубня, что отражает защитную функцию покровных тканей и типично для условий высокого педогенного давления [2].



Рис. 2. Пространственное распределение концентраций мышьяка в ботве (листьях и стебле) и клубнях (мякоть и кожура) картофеля СНТ «Багульник» г. Свирска (ГИС, 2025 г.)

Таким образом, несмотря на проведённую в 2013 г. рекультивацию промплощадки АМЗ, почвы СНТ «Багульник» сохраняют критически высокий уровень загрязнения мышьяком (до 88 ПДК), свинцом (до 4 ПДК) и никелем (до 4 ПДК). Накопление этих поллютантов в органах картофеля многократно превышает нормативы для пищевой продукции, что представляет реальный риск хронической интоксикации для населения, потребляющего продукцию с данных участков. Детские площадки города характеризуются значительно более низкими концентрациями мышьяка, однако содержат повышенные уровни никеля и хрома, требующие отдельной гигиенической оценки. Полученные результаты подтверждают необходимость введения запрета на использование территории СНТ «Багульник» под производство пищевых культур и разработки комплексной программы мониторинга и санации загрязнённых зон г. Свирска.

Литература

1. Кузьминова О. В., Пройдакова О. А., Янчук Т. М. Оценка степени загрязнения тяжёлыми металлами компонентов природной среды г. Свирска (Иркутская область) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2015. Т.11.С. 42–56.

2. Янчук Т. М., Кузьминова О. В. Содержание свинца, кадмия и мышьяка в компонентах природной среды г. Свирска // Вопросы естествознания. 2014. № 2. С. 74–79.

3. The mechanism of arsenic behaviour in the soil-plant system and its interaction with biogenic macroelements of plants under conditions of toxic stress / G. A. Belogolova, B. A., Baenguev, E. V. Chuparina [et al.] // Chemistry and Ecology, 2025. Vol. 41, N 2. P. 173–193.

4. Богданов А. В., Шкрабо А. И., Шатрова А. С. Технологические решения рекультивации промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46, № 1. С. 84–96.

HEAVY METAL AND ARSENIC CONTENTS IN SOIL AND PLANT COMPONENTS OF ECOSYSTEMS SVIRSKA

O. V. Kuzminova[1], T. M. Yanchuk[1], E. V. Chuparina[2], A. D. Kutenkova[1]
Irkutsk State University, Irkutsk, panytm@mail.ru
A. P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, lchup@igc.irk.ru

Heavy metals (Pb, Ni, Zn, Cr, Hg) and arsenic contamination of soils, playground sands, and potato plants (*Solanum tuberosum* L.) in Svirsk (Irkutsk region) was assessed in September 2025 using X-ray fluorescence spectrometry and cold-vapour atomic absorption analysis; significant exceedances of maximum permissible concentrations were revealed in all sample types, with the highest hazard index for As and Pb in garden soils and potato leaves.

УДК 631.48

ОТ МОРФОЛОГИИ ПАЛЕОПОЧВ К ПАЛЕОЛАНДШАФТАМ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ОТЛОЖЕНИЙ МИС 7 – МИС 1 РАЗРЕЗА НОВОЗАВЕДЕННОЕ (ВОСТОЧНОЕ ПРЕДКАВКАЗЬЕ)

М. Н. Лазарева[1,2,3], В. И. Дуданова[2], Н. В. Сычев[3]

[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
lazarevamn@my.msu.ru
[2]Институт физики Земли РАН, Москва
[3]Институт географии РАН, Москва

Почвенный покров как важнейший компонент природной среды реагирует на смену климатической обстановки, что отражается в морфологическом облике почвенного профиля [3]. Именно морфотипические признаки палеопочв в первую очередь служат инструментом для реконструкции тех природных условий, в которых происходило их формирование. Однако изучение почв – и особенно палеопочв – сегодня немыслимо без тесной интеграции с географией, геологией, геохимией, а также с методами хронометрии (OSL/IRSL датирование) и др. Именно на стыке этих наук рождаются новые подходы к расшифровке «памяти почв» и количественной реконструкции природной среды прошлого.

Континентальными палеоархивами, записывающими информацию о динамике ландшафтно-климатических событий на протяжении четвертичного периода, являются лёссово-почвенные серии (ЛПС). Они представляют собой чередующиеся горизонты лёссов и палеопочв, которые отражают смену ледниково-межледниковых циклов. Почвы, являясь индикаторами стабилизации поверхности, формируются в теплые и влажные межледниковые эпохи по сравнению с более аридными периодами лёссонакопления [1].

Мощные ЛПС с высокими темпами эоловой аккумуляции [2] наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины, в Восточном Предкавказье. Одним из ключевых объектов нашего исследования является лёссово-почвенный разрез «Новозаведенное», расположенный на левом берегу р. Кума в 20 км к юго-западу от опорного для региона разреза «Отказное». ЛПС «Новозаведенное» видимой мощностью 19,5 м была впервые описана летом 2025 г.

Для разреза предложено хроностратиграфическое деление, основанное на данных педо-, лито- и тефростратиграфии, а также полученных люминесцентных датировок. По этим результатам сделан вывод о том, что видимая толща ЛПС формировалась с конца среднего плейстоцена, т. е. на протяжении МИС 7 – МИС 1. Периоды среднего и позднего плейстоцена являются наиболее близкими аналогами современных климатических условий, что обусловливает актуальность их изучения.

ЛПС «Новозаведенное» включает следующие почвенные уровни: брянский, мезинский и каменский педокомплексы. Отличительной особенностью этой лёссовой толщи является то, что верхнеплейстоценовые (МИС 1 – МИС 5) отложения здесь вскрыты в естественном обнажении. Мезинский и каменский педокомплексы имеют три четко разделенные фазы почвообразования.

В результате работы была выявлена постепенная тенденция аридизации климата от МИС 5е к МИС 3; реконструированы типы почвообразования для каждого педокомплекса; а также проведена количественная реконструкция палеоклимата. На основе уравнения [4], предложенного для региона с количеством осадков менее 480 мм/год, были рассчитаны такие климатические индексы, как коэффициент увлажнения, среднегодовое количество осадков, индекс аридности. Выводы о динамике почвенно-растительных зон, сделанные на основании двух независимых подходов (морфологического анализа палеопочв и количественной оценки индексов) были сопоставлены друг с другом.

Благодарность. Выражаем искреннюю благодарность к. г. н. Константинову Е. А. за его неоценимую помощь в получении и интерпретации представляемых в работе данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 26-77-00103 «Эпохи экстремального пыленакопления в Восточном Предкавказье в позднем неоплейстоцене и голоцене».

Литература

1. Сравнительный анализ изменений условий осадконакопления за последний межледниковоледниковый макроцикл в лёссовых областях юга Восточно-Европейской равнины (Приазовье) и Центрального Китая (Лёссовое плато) / А. А. Величко, Т. Янг, А. О. Алексеев, О. К. Борисова, П. И. Калинин, В. Н. Конищев, Ю. М. Кононов, Е. А. Константинов, Р. Н. Курбанов, П. Г. Панин, В. В. Рогов, В. А. Сарана, С. Н. Тимирева, И. Г. Чубаров // Геоморфология. 2017. № 1. С. 3–18.

2. Сычев Н. В., Константинов Е. А., Захаров А. Л. Лёссово-почвенные серии Центрального Предкавказья: хроностратиграфия, состав и условия осадконакопления в позднем неоплейстоцене // Геоморфология и палеогеография, 2025. Т. 56, № 2. С. 323–340.

3. Таргульян В. О., Бронникова М. А. Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития // Почвоведение. 2019. № 3. С. 259–275.

4. Alekseev A. O., Shary P. A., Malyshev V. V. Magnetic susceptibility of soils as an ambiguous climate proxy for paleoclimate reconstructions // Quaternary International. 2023. N 661. P. 10–21.

FROM PALEOSOL MORPHOLOGY TO PALEOLANDSCAPES: MULTI-PROXY STUDY OF THE MIS 1 – MIS 7 DEPOSITS AT NOVOZAVEDENNOYE (EASTERN CISCAUCASIA)

M. N. Lazareva[1,2,3], V. I. Dudanova[2], N. V. Sychev[3]
[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, lazarevamn@my.msu.ru
[2]Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow
[3]Institute of Geography RAS, Moscow

This research implements a multidisciplinary approach to the study of the loess-paleosol complex “Novozavedennoye” (Eastern Ciscaucasia), integrating methods from soil science, lithology, petromagnetism, and luminescence dating. The pedostratigraphic levels were described and characterized, as well as a comparison with the “Otkaznoe” reference section for the region. Based on a suite of soil and lithological data, pedogenesis types were reconstructed for the Kamensk (MIS 7), Mezin (MIS 5), and Bryansk (MIS 3) pedocomplexes. A quantitative paleoprecipitation assessment has been performed for this section for the first time. The results allow a transition from the morphological description of paleosols to a reconstruction of paleolandscapes and a quantitative assessment of climatic parameters since the end of the Middle Pleistocene. This demonstrates the potential of modern multidisciplinary soil science as a link between fundamental research and the tasks of environmental prediction.

УДК 546.16:631.453:669.71

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ ФТОРИДАМИ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

Л. Г. Лисецкая, Н. В. Ефимова, С. Ф. Шаяхметов

ФГБНУ Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований
Ангарск, , lis_lu154@mail.ru

Прибайкалье характеризуется высокой концентрацией производств по выпуску первичного алюминия благодаря наличию доступной и дешевой электроэнергии ГЭС. Братский и Иркутский алюминиевые заводы, входящие в систему ОАО «РУСАЛ», на протяжении 40 с лишним лет вырабатывают более 1 млн т алюминия в год. В 2021 г. введена в эксплуатацию первая очередь Тайшетского алюминиевого завода с мощностью 428,5 тыс. т алюминия в год. Основными токсическими загрязнителями, образующимися в результате работы алюминиевых заводов, являются фториды, как в газообразном, так и в твердом виде [4; 5]. По данным мониторинга, среднемесячные концентрации фторидов в атмосферном воздухе стабильно превышают санитарные нормы [2]. Выпадение фтористых соединений вместе с атмосферными осадками приводит к их накоплению в почве и поверхностных водах. Вследствие этого изучение снежного и почвенного покрова как депонирующей среды экотоксикантов является надежным объектом для оценки загрязнения приземного слоя атмосферы и установления путей транспортировки загрязнителей от их источника [7].

Целью нашей работы явилось изучение содержание фторсодержащих компонентов в почвенном и снежном покрове в зоне выбросов алюминиевого производства филиала ОАО «РУСАЛ – Братск» в г. Шелехове и в г. Тайшете Иркутской области.

Отбор проб почвы и снежного покрова проводили в различных условно функциональных зонах. Пробы снега отбирали в виде кернов с площадью основания 200×200 мм на всю глубину снега, не менее трех кернов с каждой точки отбора. Отобранные пробы помещали в полиэтиленовые емкости, размораживали при комнатной температуре и тщательно очищали от растительных остатков. Талую воду фильтровали через предварительно взвешенные фильтры «синяя лента». Отбор проб почвы производили в виде кернов поверхностного слоя почвенного покрова на глубину 20 см, поскольку известно, что максимальное содержание загрязняющих веществ и элементов приурочено к верхнему горизонту [1]. В каждой точке отбирали 5 проб в виде конверта размером 5×5 м, которые в последующем объединяли. Измерение содержания фторидов осуществляли потенциометрическим методом с ионоселективным электродом на фоне цитратного буферного раствора.

Результаты исследования

Результаты определения фтористых соединений в снежном и почвенном покрове представлены в таблице.

Таблица

Содержание фтора в снежном (мг/дм^3) и почвенном (мг/кг) покровах в зоне воздействия алюминиевых производств

Условная функциональная зона	Тайшет, 2012 г.		Тайшет, 2024 г.		Шелехов, 2023 г.	
	снег	почва	снег	почва	снег	почва
Промышленная	0,07±0,01	0,67±0,07	0,63±0,13	0,71±0,07	29,38±15,02	53,58±4,25
Селитебная	0,07±0,01	0,46±0,08	0,06±0,01	0,60±0,08	18,31±3,84	22,65±1,65
Рекреационная	0,06±0,01	0,46±0,09	0,08±0,02	0,55±0,09	3,11±0,24	0,61±0,07
Сельскохозяйственная	–	–	–	–	16,12±4,22	60,37±0,43

Исследования, проведенные в зоне размещения алюминиевого завода в г. Шелехов, показали, что приоритетными специфическими загрязняющими веществами на экспонированной территории являлись соединения фтора, среднегодовые концентрации которых составили в атмосферном воздухе 6,2–1,4 ПДК, в почве 5,9–11 ПДК. Повышенный уровень фторидов в талой воде снежных осадков отмечен для всех отобранных проб. Превышение регионального фона в фоновой точке отбора составляет 22 раза, в жилой зоне – 90–160 раз, вблизи промышленной зоны – в 300 раз. По проведенным ранее исследованиям, содержание фторидов в снежном покрове на расстоянии 1 км от ИркАЗ составляло более чем 200-кратное превышение фонового содержания [3]. Максимальное количество фтористых соединений в пробах обнаружено в непосредственной близости от производственной площадки, причем их содержание в составе атмосферных осадков, выпавших в северном и южном направлениях, существенно не отличаются. На расстоянии до 1,5 км в направлении север − северо-запад в жилых кварталах центральной части города общее содержание фтористых соединений в снежном покрове снижалось в 2,5–2,8 раза. При удалении до 2 км их количество уменьшается в 3,9–4,4 раза. В то же время в юго-восточном направлении на расстоянии 2 км суммарная концентрация фтористых соединений в 1,7 раза ниже, чем вблизи промплощадки.

В г. Тайшете в 2006–2009 гг. работала опытно-экспериментальная установка, с мощностью в 10 раз меньшей, чем строящийся завод. По результатам расчетов рассеивания газообразных фторидов на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) концентрация не превышала 0,05 ПДКсс, по мере приближения к опытному участку концентрация увеличивалась от 0,1 до 0,25 ПДКсс. Содержание плохорастворимых фторидов в воздухе промплощадки составляла, по расчетным данным, 0,2 ПДКсс, а на границе СЗЗ не превышает 0,05. В селитебной зоне концентрации составили: на расстоянии 2,4 км к северо-западу от источника твердых фторидов – 0,0005 мг/м^3 и гидрофторида – 0,0008 мг/м^3 [3]. Снежный покров, обладая кумулятивным эффектом, позволяет получать реальную суммарную величину выпадений загрязняющих веществ, отражающую уровень загрязнения приземных слоёв атмосферы. Установлено, что до пуска опытной установки концентрация фторид-иона во всех пробах не имела значимых различий в зависимости от места отбора и составляла от 0,15 до 0,24 мг/дм^3 [6]. В пробах снежного покрова, отобранных в период действия опытной установки, выявлены изменения содержания F^-. На расстоянии 2 км от

источника выбросов концентрация F^- составила 2,17 мг/ дм³, а максимальное значение достигало в подфакельной пробе на расстоянии 1 км от промышленной зоны – 4,75 мг/дм³, что в 19,8 раз выше местного фона, зафиксированного до пуска опытной установки. Концентрация фторид-иона в пробах снега, отобранных в точках на расстоянии 300 м к юго-западу от промплощадки на границе СЗЗ, а также 1 км от источника выброса к северо-востоку составила 2,5 мг/ дм³, что в 10,4 раза выше фона. Максимальные значения – 4,7 мг/дм³ зарегистрированы на расстоянии 1 км к востоку от промплощадки, что в 3,1 раз превышает ПДК фтора в воде объектов хозяйственно питьевого и культурно-бытового водопользования (для I–II климатических поясов). Полученные данные отражают накопление фторид-ионов в снежном покрове и возможность его поступления в почву, растительность и, как следствие, в организм человека.

По окончанию эксплуатации опытно-экспериментальной установки средние концентрации фторид-иона в снежном покрове составили 0,06±0,01 мг/ дм³, что не превышает фоновый уровень и ПДК фторидов в воде объектов хозяйственно питьевого и культурно-бытового водопользования (для I-II климатических поясов). Также одним из индикаторов загрязнения является почва, так как является уникальным адсорбентом как антропогенного, так и природного воздействия. В отличие от других кумулирующих сред, почвенный покров отражает многолетнее стабильное загрязнение окружающей среды. Установлено, что наибольший показатель содержания фторид-иона обнаружен в подфакельных пробах поверхностного слоя почвы на расстоянии 1 км на восток от источника выбросов. Различия концентрации фторидов в снежном и почвенном покровах в различных функциональных зонах город не было выявлено. Через три года после введения в эксплуатацию первой очереди Тайшетского алюминиевого завода отмечено статистически значимое повышение концентрации фторидов в депонирующих природных средах.

Таким образом, в зоне размещения алюминиевых предприятий отмечается загрязнение фторсодержащими соединениями снежного покрова и почвы, максимальные уровни наблюдаются в г. Шелехове. При действии в г. Тайшете алюминиевого производства даже с неполной мощностью и при соблюдении гигиенических требований к качеству атмосферного воздуха произошло накопление F^- в снеговом и почвенном покровах, превышающих фоновые величины до 10 раз.

Литература

1. Волкова В. Г., Давыдова Н. Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. Новосибирск : Наука, 1987. 187 с.

2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2024 г. Иркутск, 2024.

3. Комплексная оценка влияния производства алюминия на окружающую среду и население (на примере байкальского региона) / Н. В. Ефимова, А. Ю. Горнов, Т. С. Зароднюк, Е. А. Финкельштейн, Л. Г. Лисецкая // Проблемы безопасности окружающей среды. Ереван, 2016. С. 78–84.

4. Фторидное загрязнение серых лесных почв, находящихся в зоне влияния Тркутского алюминиевого завода / А. А. Козлова, О. Г. Лопатовская, Н. И. Гранина, Е. В. Чипанина, Е. В. Кучменко, А. Н. Бобров // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2011. Т. 4, № 1. С. 87–94.

5. Belozertseva I. A., Milic M., Tosic S., Salynikov E. Environmental pollution in the vicinity of an aluminum smelter in Siberia // Advances in understanding soil degradation. Springer, 2022. P. 379–402.

6. Efimova N. V., Grebenshikova V. I., Lisetskaya L. G. Long-term medical and environmental effect, associated with prolonged techno genic soil pollution. //International journal of biotechnology and research. 2016. Vol. 7. P. 1976–1981.

7. Chemical contamination of soil on urban territories with aluminum production in the Baikal region, Russia / V. I. Grebenshikova, M. I. Kuzmin, V. S. Rukavishnikov, N. V. Efimova, I. V. Donskih, A. A. Doroshkov // Air, soil and water research. 2021. Vol. 14. P. 1–11.

SOIL POLLUTION FLUORIDES IN AREAS INFLUENCED BY ALUMINUM PRODUCTION

L. G. Lisetskaya, N. V. Efimova, S. F. Shayakhmetov
East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk
lis_lu154@mail.ru

The study of snow and soil cover as a depositing medium for ecotoxicants is a reliable object for assessing the pollution of the ground layer of the atmosphere and establishing the routes of pollutant transportation from their source [5]. The aim of our work was to study the content of fluorine-containing components in the soil and snow cover in the emission zone of an aluminum smelter. Research conducted in the areas of the aluminum smelter in the city of Shelekhov showed that the average annual concentrations of fluoride compounds were 6.2–1.4 MAC in the atmospheric air and 5.9–11 MAC in the soil. Elevated levels of fluorides in meltwater from snow precipitation were noted for all samples collected. The excess of the regional background level at the background sampling point was 22 times, in the residential area – 90–160 times, near the industrial zone – 300 times. When the aluminum production in Taishet was operating even at partial capacity and while observing hygienic requirements for the quality of atmospheric air, there was an accumulation of F- in the snow and soil cover that exceeded background values by up to 10 times.

УДК 504.064

КАЛЬЦЕФИЛЬНЫЕ ЛИШАЙНИКИ КАРБОНАТНОГО МАССИВА КАДАЛИКАНСКИЕ СТОЛБЫ (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ, ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)

А. В. Лиштва, Н. В. Тресков

Иркутский государственный университет, Иркутск

Патомское нагорье представляет собой древнее средневысотное горное сооружение [1], примыкающее с северо-востока к Становому нагорью и находящееся на стыке Иркутской области и Республики Саха (Якутия). Кадаликанские Столбы представляют собой спрессованные карбонатные породы мощностью свыше 25 м, и протяженностью более 5 км, прорезанные руслами рек Правая Кадали и Кадаликан. Карбонатные обнажения на обширных пространствах центральной части северо-востока Азии имеют крайне дисперсное распространение и возможно представляют собой дерриваты древних синеклиз [4; 2], но детальные сведения о происхождении и геологической истории Кадаликанского карбонатного массива в открытых литературных источниках отсутствуют.

Суровые климатические условия и особый характер подстилающей поверхности послужили причиной развития в районе исследований одного из самых редких вариантов среднетаежных растительных сообществ – гмелиново-лиственничников (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) гриваст-карагановых (*Caragana jubata* (Pall.) Poir.) с участием рододендрона мелколистного (*Rhododendron parvifolium* Adams).

На основе специальных лихенологических исследований на Кадаликанских Столбах выявлено 89 видов лишайников из 52 родов и 22 семейств, однако облигатными кальцефилами являются только 34 вида из 21 рода и 17 семейств, что составляет не более 40 % всего видового богатства. К облигатным кальцефилам отнесены только те виды, которые не встречаются в условиях отсутствия кальция в субстрате, что особенностями их экологической адаптации к подобным условиям [3].

Литература

1. Воскресенский С. С. Геоморфология Сибири. М. : Изд-во МГУ, 1962. 352 с.
2. Губин С. В., Карташова Г. Г. Карбонатные голоценовые отложения Приморской низменности Якутии // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1989. № 58. С. 79–85.
3. Лиштва А. В. Лишайники карбонатных субстратов Патомского нагорья (Восточная Сибирь). Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2023. Т. 22, № 2. С. 179–182.
4. Попов А. И. Особенности литогенеза аллювиальных равнин в условиях сурового климата // Известия АН СССР. Серия географическая. 1953. № 2. С. 60–72.

УДК 631.4:551.8

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ГЕОАРХИВОВ РАННЕСРЕДНЕВЕКОВОГО ГОРОДИЩА КРИНИЧНОЕ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

М. С. Лящевская[1], В. Б. Базарова[1], Я. Е. Анзулис[2], Е. Ю. Шаповалов[2], Д. В. Сухин[3], Н. Ф. Пшеничникова[1], А. Г. Киселева[1]

[1]Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, lyshevskay@mail.ru
[2]Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН Владивосток, 7yana7@mail.ru
[3]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, danilsu52@gmail.com

Введение. Археологические геоархивы представляют собой разновозрастные почвы, погребенные под археологическими памятниками, в которых зашифрована информация о природной среде обитания и деятельности человека. Важной задачей геоархеологических исследований является определение степени соответствия результатов археологических и естественно-научных данных. Цель настоящей работы – провести реконструкцию природных и антропогенных процессов в районе Криничного городища с момента его основания и до настоящего времени на основе спорово-пыльцевого анализа и почвенных исследований культуросодержащих отложений.

Эпоха раннего средневековья в Приморье связана с широким распространением памятников мохэской археологической культуры. Памятники их материальной культуры – поселения, городища и могильники, традиционно датируемые V–VII вв. н. э., фиксируются в Приморье на территории Приханкайской низменности, по северо-восточному и южному побережьям, на севере края [7].

Объекты и методы. Археологический памятник городище Криничное расположен на пологом склоне горного отрога в долине р. Криничная на Приханкайской низменности. Растительность представлена дубняком леспедецево-разнотравным, современный почвенно-растительный покров имеет следы антропогенного и пирогенного воздействия. На территории памятника площадью 21 057 м^2 выявлено 100 западин древних сооружений. Выделяются два этапа заселения, проходивших со значительным хронологическим разрывом – период палеометалла и период раннего средневековья [2].

В 2023 г. и 2025 г. были исследованы два жилища – № 78 и № 72, расположенные в центральной части памятника на расстоянии 7,5 м друг от друга. Комплекс находок и стратиграфические данные позволяют предварительно датировать их VI-VII вв., что соответствует мохэскому этапу существования городища. Образцы для спорово-пыльцевого анализа были отобраны сплошной колонкой с шагом в 1 см из жилища № 78 (западный борт раскопа 2), 38 шт. (почвенный профиль 1–23) и из жилища № 72 (бровка раскопа 2) – 10 образцов из почвенных горизонтов профилей 1–25, 2–25 и 3–25. Обработка проб на спорово-пыльцевой анализ проводилась по стандартной методике с использованием 10%-ного раствора щелочи и применением тяжелой жидкости (CdI + KI).

Для дифференциации естественных и антропогенно-измененных горизонтов почв применялись метод морфологического анализа почвенного профиля и сравнительно-географический метод. Почвенные анализы выполнялись по стандартным методикам: содержание Сорг – по Тюрину и содержание легкорастворимого фосфора по Кирсанову.

Результаты и их обсуждение. Профиль 1–23: AU 0–6 см – темно-коричневый с темно-серым оттенком, влажный, переплетен корнями трав, переход ясный; AUBM 6–10 см – желто-коричневый, супесчаный, переплетен корнями, переход ясный; BM 10–38 см – серо-коричневый, супесчаный, переплетен корнями, включения обломков породы, углей. Ниже 38 см – дно раскопа – горизонт BC.

Почвенные горизонты профилей 1–25, 2–25 и 3–25 плавно переходят друг в друга в горизонтальной проекции. В процессе проведения археологических работ уничтожен верхний естественный слой подстилки. Профиль 1–25 (крайний справа): AU 0-(7–8) см – черный, влажный, мелкокомковатый, супесчаный, уплотнен, переплетен корнями, переход ясный; AUBM (7–8)-(15–22) см – темно-серый, неравномерный по мощности, влажный, комковато-порошистый, легкосуглинистый, уплотнен, переход ясный; BM1 (15–22)-35 см – бурый, влажный, мелкокомковатый, супесчаный, единичные корни, обломки породы, уплотнен, переход ясный. На глубине 26–35 см выделен культурный слой (КС) в виде пятна черного цвета с буроватым оттенком, влажный, порошистый, супесчаный, переход ясный. Ниже 35 см – дно раскопа – горизонт BC.

Профиль 2–25 (срединный): AU 0-(6–9) см – черный с буроватым оттенком, влажный, комковато-порошистый, супесчаный, уплотнен, переплетен корнями, скелетный, переход заметный; AUBM (6–9)-(15–20) см – темно-бурый, влажный, мелкокомковатый, легкосуглинистый, единичные обломки породы и корешки, переход ясный; BM (15–20)-38 см – бурый, влажный, мелкокомковатый, легкосуглинистый, с единичными обломками породы и корешками, переход ясный. Ниже 38 см – дно раскопа – горизонт BC.

Профиль 3–25 (крайний слева): AU 0-(5–8) см – черный, свежий, мелкокомковатый, легкосуглинистый, переплетен корешками, освоен муравьями, переход заметный; AUBM КС (5–9)-(12–18) см – темно-бурый, влажный, мелкокомковатый, легкосуглинистый, переход резкий; BM КС 13–38 см – насыщенно черный, углистый, клином уходящий острым углом влево, влажный, супесчаный, отдельные обломки породы, переход ясный. Ниже 38 см – дно раскопа – горизонт BC.

Почва всех профилей соответствует бурозему темному антропогенно-измененному на делювии гранитов [3]. Диагностическими признаками культурного слоя здесь выступают: черная, темно-серая окраска, обусловленная наличием включения углистых частиц во всех горизонтах; неоднородная пятнистая окраска; резкие границы и наличие клиновидных структур; чередование уплотненных и рыхлых слоев, не связанное с естественным сложением. Например, в профиле 3–25 под гумусовым горизонтом залегает серия чередующихся темно-бурых и насыщенно-черных углистых прослоек, уходящих клином до

глубины 38 см. Подобное залегание может интерпретироваться как следы глубокого антропогенного воздействия, связанного с жизнедеятельностью поселения. В профилях 1–25 и 2–25 углистые включения фиксируются на глубинах значительно ниже уровня залегания естественного гумусового горизонта (до 22–35 см), что однозначно указывает на переотложение материала в результате антропогенеза.

Содержание углерода достаточно высокое во всех профилях (12,4–12,8 %). Легкорастворимый фосфор максимально накапливается в гумусовых горизонтах (63–81 мг/100г почвы), снижаясь вниз по профилю до 7–10 мг/100г почв [9].

По результатам спорово-пыльцевого анализа профилей выделяется 4 спорово-пыльцевых комплекса, соответствующих различным фазам антропогенной активности (АФ). АФ 1 отражает начальный этап освоения территории населением мохэской культуры. В результате вырубок и увеличения освещенности в лиственном лесу смешанного состава (дуб, береза, ольха) широкое развитие получил подлесок из лещины. Ветровой занос пыльцы ели, связанный с понижением границы темнохвойных лесов на горных склонах, указывает на похолодание. В пойменных отложениях р. Мельгуновка выявлен кратковременный холодный эпизод в VI в. [4]. Считается, что период существенного похолодания в умеренной зоне Северного полушария длился с 536 по 660 г. н. э. [10; 11].

АФ 2 соответствует периоду активного хозяйственного освоения территории. В окрестностях поселения равномерно сочетались лесной и луговой типы ландшафтов, лесистость была меньше, чем в настоящее время. В лиственных лесах, занимавших повышенные элементы рельефа, доминировали дуб монгольский *Quercus mongolica* и береза даурская *Betula dahurica*. Повышенное, по сравнению с современным, содержание пыльцы березы в спорово-пыльцевых спектрах свидетельствует о производных лесных сообществах, а вместе с высокой долей пыльцы лещины и березы овальнолистной *B. ovalifolia* они говорят о зарастании вырубок или гарей. Дубняки на территории городища с характерной сухостью их местопроизрастаний выделяются оптимальностью условий для возникновения и распространения пожаров, особенно в весенне-осенний период низкой влажности воздуха с большой интенсивностью ветра [8]. Регулярное пирогенное воздействие подтверждается высоким содержанием углерода (Сорг. в пределах 12 %) по всей глубине почвенных профилей разрезов [9], а также наличием скоплений углистых прослоек и сгоревших частей деревянных конструкций, обнаруженных при археологических раскопках [1].

Высокий процент пыльцы полыни и амброзии полыннолистной *Ambrosia artemisiifolia* говорит о наличии открытых пространств, а находки пыльцы дурнишника можно интерпретировать как свидетельство усиления сельскохозяйственной активности. Индикатор пашенного земледелия у жителей Криничного городища – присутствие в отложениях культурного слоя пыльцы хлебных злаков (до 9 %), скорее всего, проса. Предварительные результаты флотации подтвердили наличие семян проса обыкновенного *Panicum miliaceum* и итальянского *Setaria italica*. Другим маркером земледелия у жителей Криничного городи-

ща можно считать находки пыльцы гречихи татарской *Fagopyrum tataricum* – адвентивного вида, встречающегося преимущественно в посевах, и виды горца, которые также являются сорняками у зерновых. Появление в спектрах спор антоцеротовых мхов является индикатором нарушенных турбационных грунтов, связанных, в том числе, и с земледелием [5; 6].

Высокое содержание пыльцы крапивы (до 28 %) можно рассматривать как индикатор сельскохозяйственной деятельности, выпаса скота или наличия загонов для них, как и повышенное участие в спектрах пыльцы представителей семейства зонтичных, предпочитающих богатые азотом, перегноем местообитания. Археологические находки на городище Криничное и на других мохэских памятниках подтверждают наличие животноводства у их жителей.

Находки пресноводных диатомовых водорослей могут косвенно свидетельствовать о практиках, связанных с использованием водных ресурсов, включая рыболовство. Они могли попасть с рыбой, в жабрах и кишках которой возможно содержание створок диатомей. Необходимо отметить, что кислые почвы Приханковья обусловливают слабую сохранность костного материала, вследствие чего данные спорово-пыльцевого и диатомового анализов повышают значимость косвенных индикаторов хозяйственной деятельности, включая животноводство и рыболовство.

АФ 3 отражает период запустения. Сократилась антропогенная нагрузка: уменьшилось влияние пирогенного фактора – в подлеске значительно сократилось участие кустарниковой березки и лещины, развитие получила леспедеца; прекратилось земледелие – исчезла пыльца культурных злаков и сопутствующих им сорняков; началось восстановление естественного почвенно-растительного покрова – снизилась доля рудеральных растений. Высокое содержание азота в почве привело к всплеску нитрофилов из семейства зонтичных.

Во время АФ 4 в результате потепления увеличивается роль широколиственных и дуба, возрастает залесенность и почвенное увлажнение. В настоящее время исследуемый участок продолжает испытывать антропогенное воздействие и регулярно посещается людьми, о чем говорит повышение доли пыльцы крапивы, амброзии и полыни, по сравнению с АФ 3.

Развитие почвенно-растительного покрова в районе Криничного городища проходило под воздействием изменений климата, а также хозяйственной деятельности человека и пирогенеза, которые надежно диагностируются по изменению общего состава спорово-пыльцевых спектров, появлению в них пыльцы и спор специфических видов-индикаторов, а также по высокому содержанию углерода по всей глубине почвенных профилей.

Литература

1. Анзулис Я. Е. Отчет об археологических раскопках на территории выявленного объекта археологического наследия «Городище Криничное» в Хорольском муниципальном округе Приморского края в 2023 г. Ф-1; Р-1; № 80805.

2. Городище Криничное в Приморье: планиграфия и хронология памятника. Опыт применения методики воздушного лазерного сканирования (LiDAR) / Я. Е. Анзулис, С. Д. Прокопец, И. В. Белова [и др.] // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 27–37.

3. Антропогенные почвы: учебник для вузов / М. И. Герасимова [и др.]. М. : Юрайт, 2026. 264 с.

4. Обстановки осадконакопления на поймах рек Приханкайской равнины в среднем-позднем голоцене (юг Дальнего Востока) / В. Б. Базарова, М. С. Лящевская, Т. Р. Макарова [и др.] // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37, № 1. С. 94–105.

5. Гольева А. А., Хохолова О. С. Энговатова А. В. Погребенные пахотные почвы и культурные слои древнего Ярославля как отражение природных и антропогенных процессов // Почвоведение. 2025. № 3. С. 347–359.

6. Палинологическая индикация антропогенных изменений растительности восточно-европейских хвойно-широколиственных лесов в позднем голоцене / М. Б. Носова, Е. Ю. Новенко, В. П. Зерницкая [и др.] // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 4. С. 72–84.

7. Пискарева Я. Е. Новые результаты исследований мохэской культуры Приморья // Вестник ТГУ. История. 2013. № 2 (22). С. 80–85.

8. Пшеничников Б. Ф., Пшеничникова Н. Ф. Генезис и эволюция приокеанических буроземов. Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 2002. 292 с.

9. Сухин Д. В. Полеопочвенные исследования геоархивов городища Криничное (Приморский край) // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-хозяйственные и социально-экономические системы». Владивосток : ТИГ ДВО РАН, 2026. С. 176–181.

10. Prominent role of volcanism in Common Era climate variability and human history / U. Büntgen, D. Arsenault, E. Boucher [et al.] // Dendrochronologia. 2020. Vol. 64. P. 125757.

11. Was there a volcanic-induced long-lasting cooling over the Northern Hemisphere in the mid-6th-7th century? / E. van Dijk, J. Jungclaus, S. Lorenz [et al.] // Climate of the Past. 2022. Vol. 18, N 7. P. 1601–1623.

INTERDISCIPLINARY STUDY OF ARCHAEOLOGICAL GEOARCHIVES OF THE EARLY MEDIEVAL KRINICHNOYE WALLED TOWN (PRIMORSKY KRAI)

M. S. Lyashchevskaya[1], V. B. Bazarova[1], Ya. E. Anzulis[2], E. U. Shapovalov[2], D. V. Sukhin[3], N. F. Pshenichnikova[1], A. G. Kiselyova[1]

[1]Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, lyshevskay@mail.ru

[2]Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far-East FEB RAS, Vladivostok, 7yana7@mail.ru

[3]Far Eastern Federal University, Vladivostok, danilsu52@gmail.com

A reconstruction of natural and anthropogenic processes in the area of the early medieval Krinichnoye walled town (Primorsky krai) from its foundation to the present day was carried out on the basis of spore-pollen analysis and soil studies of cultural deposits.

УДК 579.26

МОДУЛЯЦИЯ ПОЧВЕННОГО МИКРОБИОМА РЕДКИМИ РАСТЕНИЯМИ СЕМЕЙСТВА FABACEAE

Ю. А. Маркова[1], Д. А. Кривенко[1], Е. Р. Хадеева[2,3], А. Х. Галивонджян[4], А. О. Демкина[4], К. А. Гилеп[4], Д. А. Сутормин[4]

[1] Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, juliam06@mail.ru
[2]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
[3]Иркутский государственный университет, Иркутск
[4]Сколковский институт науки и технологий, Москва

Ризосфера – это зона почвы, находящаяся под непосредственным влиянием корневых экссудатов, которые служат основным источником углерода и энергии и избирательно стимулируют развитие определенных групп микроорганизмов, создавая так называемый «ризосферный эффект» [1]. Характер этого эффекта не универсален: он зависит от вида растения и от свойств почвы, в которой это растение растёт [1; 3]. Особый интерес в этом контексте представляют редкие и реликтовые виды растений. Они длительное время существуют в специфических, часто экстремальных ландшафтах и за это время могли выработать уникальные способы взаимодействия с почвенными микроорганизмами. Для таких растений микробная поддержка может быть критическим фактором выживания.

Среди микроорганизмов, ассоциированных с корнями растений, особое место занимают PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) – ризобактерии, стимулирующие рост растений. Они могут фиксировать атмосферный азот, растворять труднодоступные фосфаты, продуцировать фитогормоны (ауксины, цитокинины), синтезировать сидерофоры (железо-связывающие соединения) и подавлять развитие фитопатогенов. Присутствие PGPR в ризосфере особенно важно в условиях стресса – при дефиците питательных элементов, засолении, загрязнении тяжёлыми металлами или недостатке влаги [2–4].

Цель настоящей работы – сравнить структуру микробиома фоновой почвы и ризосферы редких бобовых растений, произрастающих на западном побережье Байкала и острове Ольхон, и выявить возможные механизмы участия микробиома в адаптации растений к условиям среды.

Исследованы шесть участков, расположенных на острове Ольхон (S1 – псаммозем, посёлок Песчаная; S2 – литозем, падь Халзын) и на западном побережье Байкала (S3, S4 – карболитоземы, мыс Зундук; S5 – карболитозем, мыс Ото-Хушун; S6 – карболитозем, Тажеранская степь). На каждом участке отобраны образцы фоновой почвы (bulk) и ризосферы доминирующих видов бобовых: *Astragalus olchonensis* Gontsch. (S1_Ao), *Vicia olchonensis* (S2_Vo), *Hedysarum zundukii* (S3_Hz), *Astragalus chorinensis* Bunge (S4_Ach), *Oxytropis triphylla* (Pall.) DC. (S4_Otz и S6_Ott), *Oxytropis muricata* (Pall.) DC. (S5_Omu), *Oxytropis microphylla* (Pall.) DC. (S6_Omi). Общее число образцов составило 140, по 10 повторностей в каждой группе. Выделение тотальной ДНК проводили с ис-

пользованием набора PowerSoil Pro Kit (Qiagen, США). Секвенирование вариабельных районов V3–V4 гена 16S рРНК выполнено на платформе Illumina MiSeq. Биоинформатическая обработка включала фильтрацию прочтений, объединение парных ридов, кластеризацию OTU (97 % идентичности) и таксономическую классификацию по базе SILVA v. 138. Все расчёты проведены в среде R с использованием пакетов vegan, igraph. Оценку α-разнообразия проводили по индексу Шеннона. Оценку β-разнообразия – с использованием неметрического многомерного шкалирования (NMDS) на расстояниях Брея-Кёртиса. Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью PERMANOVA (999 пермутаций) и критерия Вилкоксона.

Установлено, что статистически значимое повышение индекса Шеннона в ризосфере по сравнению с фоновой почвой зафиксировано только на участке S5 у *Oxytropis muricata* ($p = 0,026$). На остальных пяти участках различия между почвой и ризосферой по показателям альфа-разнообразия были статистически незначимы. Напротив, структура микробного сообщества (бета-разнообразие) значимо отличалась между образцами почвы и между почвой и ризосферой на всех шести участках (pairwise PERMANOVA, $p < 0,05$ для каждого сравнения). Общая PERMANOVA показала, что фактор «локация» объясняет 39,3 % вариации состава сообществ ($p = 0,001$), фактор «компартмент» (почва vs ризосфера) – 1,5 % вариации ($p = 0,002$), а их взаимодействие – 5,1 % вариации ($p = 0,001$). Таким образом, в ризосфере исследуемых видов растений при сохранении видового богатства (количества видов микроорганизмов в почве) микробного сообщества, изменяется его состав.

Для сравнительного анализа структур почвенных и ризосферных микробиомов выделили следующие компоненты. Коровой компонент (Core) – OTU, присутствующие не менее чем в 80 % образцов группы. Это основа сообщества, наиболее стабильная и распространённая часть. Вариабельный компонент (Variable) – OTU с встречаемостью от 20 % до 80 %. Это таксоны, которые могут переходить в коровой компонент при изменении условий среды. Редкий компонент (Rare) – OTU, встречающиеся менее чем в 20 % образцов. Внутри него по обилию выделили две фракции: Very rare (0,001–0,01 %) – таксоны, находящиеся на границе обнаружения, но потенциально готовые к быстрому росту; и Ultra-rare (<0,001 %) – таксоны с минимальной численностью, которые могут активироваться только при существенных изменениях среды.

В таблице 1 представлены изменения этих компонентов в ризосфере по сравнению с фоновой почвой.

На основе анализа этих данных можно выделить три типа изменений. Первый тип (увеличение количества коровых OTU и их доли в сообществе). Характерен для *A. olchonensis* на S1, *A. chorinensis* на S4 и *O. triphylla* на обоих участках (S4 и S6). Доля вариабельного компонента, как правило, снижается или остаётся стабильной. В редком компоненте наблюдается сдвиг в сторону фракции Ultra-rare. В ризосфере этих видов происходит обогащение PGPR-таксонами. Например, у *A. olchonensis* увеличивается частота встречаемости *Burkholderia* (1,11 %), *Bradyrhizobium* (8,13 %) и *Streptomyces* (2,62 %). У *A. chorinensis* возрастает содержание *Bacillus* (4,55 %).

Таблица

Изменение компонентов ризосферных микробиомов исследуемых растений по сравнению с фоновой почвой

Вид	Участок	Core OTU	Total Abundance (%)	Variable (%)	Very rare (%)	Ultra-rare (%)
A. olchonensis	S1	**+27**	**+11,7**	–3,1	+0,7	–0,7
V. olchonensis	S2	**–51**	–3,3	+1,8	–2,5	+2,5
H. zundukii	S3	**–101**	–7,3	+3,2	–0,5	+0,5
A. chorinensis	S4	**+62**	+1,3	–1,2	–2,2	+2,2
O. triphylla	S4	**+40**	+0,8	+0,1	–1,6	+1,6
O. muricata	S5	**+25**	–3,1	+4,0	–1,1	+1,1
O. triphylla	S6	**+60**	+1,9	+1,2	–3,4	+3,4
O. microphylla	S6	**–185**	–12,4	+3,2	**+5,5**	**–5,5**

Примечание: Core OTU – число ядерных OTU; Total Abundance – общая доля ядерного микробиома в сообществе (%); Variable – доля вариабельного компонента (%); Very rare и Ultra-rare – доли соответствующих фракций внутри редкого компонента (%).

Второй тип (сокращение числа ядерных OTU и их доли, увеличение редкого пула и сдвиг в сторону фракции Very rare). Характерен для *V. olchonensis* на S2, *H. zundukii* на S3 и *O. microphylla* на S6. В ризосфере этих видов снижается как число коровых OTU, так и их общее обилие. Доля вариабельного компонента, напротив, увеличивается. Возрастает фракция Very rare. В ризосфере этих видов также происходит обогащение PGPR-таксонами. У *V. olchonensis* – *Bacillus* (1,92 %), *Kribbella* (1,80 %) и *Rubrobacter* (4,71 %). У *H. zundukii* возрастает присутствие нитрификатора *wb1-P19* (3,23 %). У *O. microphylla* появляются *Skermanella* (1,08 %), *Geminicoccaceae* (1,09 %) и *Acidobacteriota* (0,92 %).

Третий тип (увеличение числа ядерных OTU при снижении их доли в сообществе) отмечен только для *O. muricata* на S5. В ризосфере этого вида число коровых OTU увеличивается, но их общее обилие снижается. В редком компоненте изменения долей Very rare и Ultra-rare не превышают 1 % и могут считаться незначительными. В коровом компоненте ризосферы у этого вида усиливаются *Solirubrobacter* (0,85 %) и *Streptomyces* (0,91 %).

Таким образом, исследуемые растения изменяют состав микробного сообщества почвы (бета-разнообразие) на всех исследованных участках, но не всегда увеличивают его богатство (альфа-разнообразие). Это достигается за счет перестройки структуры (Core – Variable – Rare) микробиома. Во всех случаях в ризосфере возрастает доля PGPR-таксонов, обеспечивающих адаптацию растений к экстремальным условиям их произрастания.

Литература

1. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): a rampart against the adverse effects of drought stress / N. Bouremani, H. Cherif-Silini, A. Silini, A. C. Bouket, L. Luptakova, F. N. Alenezi, L. Belbahri // Water. 2023. Vol. 15, N 3. P. 418.

2. Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: a review / A. Hasan, N. Tabassum, F. Aafreen, T. Khan, A. Ali, N. Uddin // Bacteria. 2024. Vol. 3, N 2. P. 59–75.

3. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: current perspective / M. A. Khoso, S. Wagan, I. Alam, A. Hussain, Q. Ali, S. Saha, M. B. Poudel // Plant Stress. 2024. Vol.11.P. 100341.

4. Recent advances in PGPR and molecular mechanisms involved in drought stress resistance / D. Sati, V. Pande, S. C. Pandey, M. Samant // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2023. Vol. 23, N 1. P. 106–124.

MODULATION OF THE SOIL MICROBIOME BY RARE PLANTS OF THE FABACEAE FAMILY

Yu. A. Markova[1], D. A. Krivenko[1], E. R. Khadeeva[2,3], A. Kh. Galivondzhyan[4], A. O. Demkina[4], K. A. Gilep[4], D. A. Sutormin[4]

[1]Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, juliam06@mail.ru
[2]V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk
[3]Irkutsk State University, Irkutsk
[4]Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Moscow

A comparative analysis of the microbiome structure in bulk soil and the rhizosphere of eight rare legume species (Astragalus olchonensis, Vicia olchonensis, Hedysarum zundukii, Astragalus chorinensis, Oxytropis triphylla, O. muricata, and O. microphylla) was conducted across six sites on the western coast of Lake Baikal and Olkhon Island. The results show that the rhizosphere effect is not primarily manifested as an increase in alpha-diversity (significant differences were observed only for O. muricata, $p = 0.026$). Instead, it involves a restructuring of the three-part community architecture, comprising the core, variable, and rare components. Based on the parameters of these components, three types of plant strategies were identified. Type I (an increase in the number of core OTUs and their relative abundance) was characteristic of A. olchonensis, A. chorinensis, and O. triphylla. Type II (a reduction in core OTUs and their relative abundance accompanied by an increase in the rare pool) was observed for V. olchonensis, H. zundukii, and O. microphylla. Type III (an increase in the number of core OTUs despite a decrease in their relative abundance) was found only for O. muricata. Furthermore, congeneric plant species growing on the same soil type exhibited opposite strategies: O. triphylla (Type I) versus O. microphylla (Type II). The rare component was found to serve as a strategic reserve, and the ratio of its Very rare to Ultra-rare fractions reflects the adaptive potential of the community. Across all identified types, the rhizosphere was enriched with PGPR taxa (Burkholderia, Bacillus, Skermanella, Solirubrobacter), highlighting their important role in plant adaptation to the environmental conditions of the western Baikal coast and Olkhon Island.

УДК 631.10

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВНЕГО СТОКА РЕКИ ПРА-МАНЗУРКИ ИЗ ОЗ. БАЙКАЛ И СВОЙСТВ ПОЧВ ГОРНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

Н. А. Мартынова[1], Я. И. Мартынов[2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск
[2]Иркутский государственный аграрный университет, Иркутск
natamart-irk@yandex.ru, yaroslavikm@gmail.com

В генетическом отношении почвы Байкальского региона весьма своеобразны, не имеют аналогов вследствие развития в условиях сложной геологической истории формирования региона, влияния тектоники и сейсмических событий, холодных климатических условий, многолетней мерзлоты. Озерная экосистема оз. Байкал контролирует циркуляцию водных масс, распределение температур и, как следствие, – структуру биологического и почвенного разнообразия региона. Мощные толщи осадочных отложений оз. Байкал, накопленные за миллионы лет – это детальная летопись климатических и геологических изменений планетарного масштаба. Зарождение Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) около 25–30 млн л. н., включающей сложную мозаику блоков Сибирской и Амурской платформ с Восточно-Саянской, Тувино-Монгольской и др. микроплитами, образующими структуры Саяно-Байкальской складчатой области, – связывают с воздействием восходящего потока разогретого вещества линзоподобного тела аномальной мантии (плюма) и началом масштабного растяжения Евразийской плиты.

В археобайкальский (крипторифтовый) этап развития рифта (70–27 млн л. н.), происходило денудационное выравнивание территории БРЗ и сформировались крупные озёрные бассейны в контурах южно- и среднебайкальских впадин. В собственно рифтовый этар БРЗ (27–0 млн л. н.), сформировался современный морфоструктурный комплекс рифтовой зоны и само оз. Байкал. Палеозойский этап характеризуется активным погружением в Саяно-Байкальской области. В необайкальскую стадию резко возросла расчлененность рельефа, произошло углубление и разрастание впадин, интенсивное поднятие горных хребтов. Байкальскую рифтовую зону (БРЗ) считают частью Монголо-Сибирского пояса возрождения гор, которые сформировались во второй половине кайнозоя на основе существовавшей здесь ранее складчатой области денудационного выветривания и выравнивания, где в середине кайнозоя, в олигоцене, в результате столкновения Евразиатской плиты с Индийской вновь начался орогенез и произошло дробление части древнего Евразиатского континента на ряд микроплит. В результате последующее вращение Евразиатской и Амурской плит друг относительно друга и возникшая между ними зона растяжения земной коры – привели к формированию глубочайшего в мире озера тектонического происхождения – Байкала БРЗ вдоль края Сибирской платформы [5; 6].

Главным фактором становления современного облика рельефа Прибайкалья является позднекайнозойский байкальский рифтогенез, история которого отражена и в стратиграфии толщи Праманзурского аллювия. Современными геологическими исследованиями выявлено, что раньше, в интервале времени от позднего плиоцена (3,6–2,58 млн л. н.) – до эоплейстоцена (2,58–0,77 млн л. н.) в рамках древней долинной речной сети Прибайкалья существовал Пра-Манзурский канал водного стока из Байкала до р. Лены в районе расположения пос. Б. Голоустного [4–6], о чем свидетельствуют мощные толщи аллювиальных отложений. Хотя механизм формирования таких мощных и зрелых толщ аллювия на таком коротком расстоянии от озера вызывает сомнение, но, принимая во внимание хорошую окатанность гальки пра-манзурского аллювия и те факты, что береговая линия в то время была гораздо дальше от сегодняшнего берега и формирование руслового аллювия р. Пра-Манзурки шло в основном за счет поступления в русло древнего потока хорошо окатанного материала береговых отложений древних конгломератов из гальки юрского возраста, – это возможно.

В палеобайкальский-байкальский этап развития БРЗ зоны начались радикальные преобразования всех ее природных ландшафтов. С 3,5 млн л. н. начался энергичный рост Байкальского свода из-за подъема вещества разогретой мантии под ним, что во многом опережало эрозионно-денудационные процессы. Приморская тектоническая фаза (~1,0 млн л. н.) вызвала ускоренное компенсационное поднятие западного плеча рифта, возникновение тектонического подпора, ингрессию вод в долины. Поднятия привели к разрыву палео Манзурского стока вод Байкала в Лену (рис. 1), в связи с чем уровень Байкала поднялся ~на 120 м выше современного уровня озера с формированием высоких береговых террас и нового стока вод Байкала через Иркутно-Ильчинскую древнюю долину в бассейн Енисея [2; 3; 5; 6].

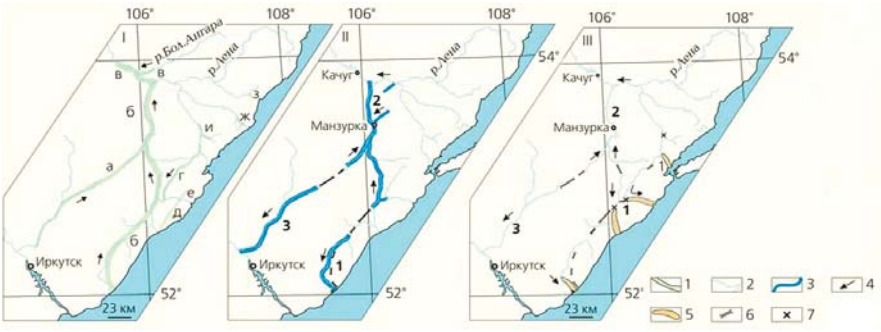


Рис. 1. Перестройки речной сети в результате роста Байкальского свода [5].

I – система р. Пра_Манзурки в позднем плиоцене (3. 5–1. 8 млн лет назад); II – распад Пра-Манзурки в раннем–среднем неоплейстоцене (0. 5–0. 2 млн лет назад) на притоки Байкала (р. Голоустная (1), Бугульдейско-Манзурскую систему притоков Лены (2) и Кудинскую систему притоков Ангары (3); III – продолжение распада Манзурской системы в среднем–позднем неоплейстоцене (0. 2–0 млн лет назад). 1– *система пра-Манзурки*, 2– *современная гидрографическая сеть*, 3 – *древняя долина системы Праманзурки*, 4 – *направление течения*, 5 – *юный эрозионный врез за счет попятной эрозии*, 6 – *брошенная долина*, 7 – *участок перехвата*

Сложная геодинамическая ситуация раннего палеозоя привела к формированию карбонатных, магматических и метаморфических пород, что. кардинально повлияло на рельефообразование в Прибайкалье, создавая лощинно-западинно-грядовый препарированный рельеф Приольхонского плато. Коллизионная горная система Приольхонья начала формироваться еще в каледонское время (~490–460 млн л. н.), с накоплением карбонатных пород в условиях морских мелководных фаций, впоследствии полностью нивелированная денудацией [7]. Второй этап коллизии (типа «террейн – континент) привел к глубокому метаморфизму пород ольхонской серии с формированием специфической структуры чередующихся в виде узких вытянутых полос, субвертикальных пластин-литонов из карбонатных, гнейсово-мигматитовых, базитовых и гипербазитовых комплексов горных пород, усиливающих почвенное разнообразие региона. Вследствие изостатического тектонического поднятия краев рифтовой байкальской впадины в ответ на её проседание (30–3,5 млн л. н.) на поднимающемся западном борту рифта сформировалось обширное денудационное плато с альпинотипным и гольцовым рельефом и интенсивной гляциальной эрозией [6].

Среднегорный холмисто-увалистый рельеф Приморского хребта (~1500–1700 м над у. м.), с плоскими гольцовыми вершинами, отличающийся длительной историей развития, ярусностью и блоковой дифференциацией с предгорными делювиальными шлейфами, сменяется Приольхонским плато (~800–900 м над у. м.), обрывающимся к котловине Байкала уступом с долинами русел рек, трассирующих вкрест зону разлома в приустьевых частях с образованием S-образных изгибов – свидетелей неоплейстоценовых сдвиговых дислокаций [1]. Уплощенные вершинные поверхности трехъярусного разновозрастного денудационного рельефа Приморского хребта являются реликтами мел-палеогенового пенеплена. Второй ярус представлен неогеновой поверхностью выравнивания долинного педиплена с пологонаклонными педиментами, замкнутыми озерными котловинами и широкими долинами-суходолами Приольхонского плато. Третий ярус рельефа Приольхонья представлен молодыми эрозионными врезами с привязкой днищ долин к уровню оз. Байкал.

Исследованные нами образцы из слоев древнего аллювия в карьере долины древнего русла реки Пра-Манзурки в окрестностях пос. Алагуй Ольхонского района Иркутской области (52°47'14.96"С; 105°59'54.09"В, рис. 2) сильно различаются по характеру материала, по цвету, по количеству скелета, песчаной и др. фракций (рис. 3), что свидетельствует о разных климатических, геолого-геоморфологических и тектонических условиях формирования и накопления древнего аллювия, подтверждая сложную геологическую историю развития региона. В составе скелетно-мелкоземных фракций прослоев аллювия преобладают песчано-супесчаные фракции, достигая 90 % и более. В отдельных слоях представлен большой объем несортированного галечника (1–5 см), что говорит о большей скорости водного потока во время формирования данных прослоев.

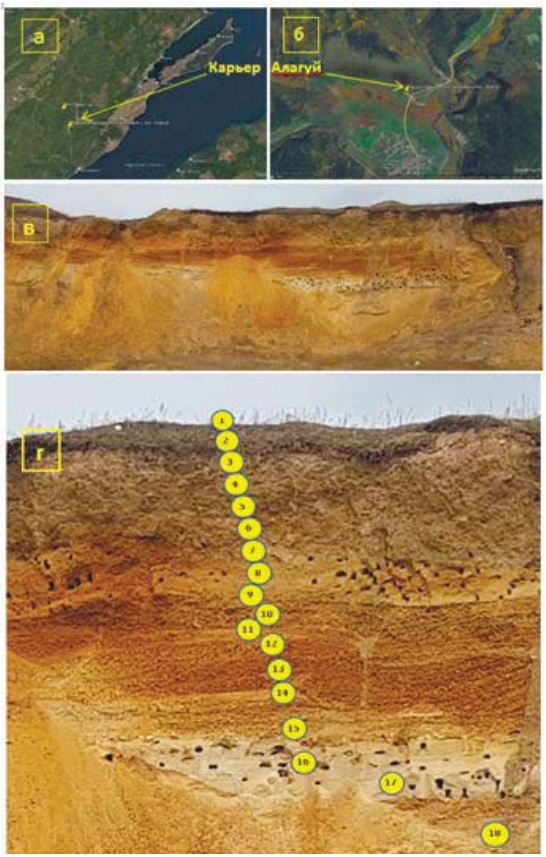


Рис. 2. Карьер Праманзурского аллювия в окрестностях пос. Алагуй Ольхонского района Иркутской области: *а* – расположение на космоснимке относительно оз. Байкал; *б* – относительно пос. Алагуй; *в* – общий вид карьера; *г* – точки отбора образцов аллювия

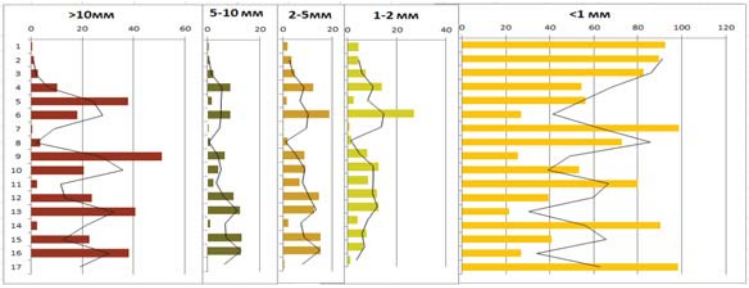


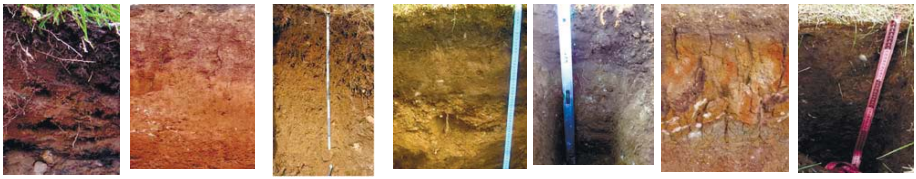
Рис. 3. Содержание фракций скелета и мелкозема (%) слоев Пра-Манзурского аллювия карьера пос. Алагуй Ольхонского района Иркутской области

Таблица

Физико-химические свойства образцов почвы и Пра-Манзурского аллювия геологического карьера в окрестностях пос. Алагуй Ольхонского района Иркутской области

№ обр.	~Глубина, см	Почв. грунт, фото	Индекс цвета по Манселлу	pH_{H2O} сус-пен-зия	pH_{H2O}, водная вытяжка	Водная вытяжка, мг-экв/100 г					$CaCO_3$ %	Гран. состав
						HCO_3	Cl	Обм. катионы				
								Ca	Mg	$\sum_{Ca+Mg}$		
1	0–25/25		5YR 1,7/1	6,90	5,87	0,92	0,14	2,16	1,20	3,36	0	тс
2	25–(40–60)		7. 5YR 7/3–8/3	9,26	7,74	0,32	0,20	4,80	1,20	6,40	16,0	г
3	(40–60)–75		7. 5YR 6/4	8,52	7,51	1,80	1,36	1,20	0,72	1,92	7,0	г
4	75–100		10YR 6/6	8,51	7,84	1,32	0,12	1,44	1,20	2. 64	5,8	лс-сс
5	90–120(л)		7. 5Y 4/2	7,29	7,07	0,96	0,08	0,72	0,48	1,20	1,4	тс
6	120–150		10 YR	8,44	8,04	0,64	0,16	0,43	0,05	0,48	0	п
7	150–180		2. 5Y 7/6	7,83	6,49	0,88	0,20	0,48	0,24	0,72	0	сп
8	180–210		10YR 7/8	7,28	6,68	1,12	0,08	0,62	0,10	0,72	0,3	сп
9	210–230		10 YR 5/8	7,61	5,95	0,56	0,56	0,72	0,34	1,06	0	сп
10	230–250		7. 5YR 7/8–5/8	7,10	6,04	0,64	0,16	0,82	0,14	0,96	0	п
11	250–265		10YR 7/8	8,15	5,58	0,52	0,16	0,78	0,19	0,96	0	сп
12	265–285		7. 5YR 7/8	7,26	6,86	0,6	0,08	0,58	0,14	0,72	0	п
13	285–310		7. 5YR 5/8	7,02	6,45	0,72	0,16	0,72	0,14	0,86	0	п
14	310–330		7. 5YR 7/8	7,11	6,40	0,6	0,24	0,58	0,38	0,96	0	сп-лс
15	330–360		10YR 7/3	7,56	6,38	0,36	0,08	0,36	0,12	0,48	0	п
16	360–380		10YR 7/3	8,41	7,40	0,68	0,12	0,41	0,07	0,48	0,03	п
17	380–420		2. 5Y 8/1	7,40	6,24	0,4	0,08	0,36	0,12	0,48	0	п

Охристая окраска некоторых слоев свидетельствует о их накоплении в условиях жаркого и влажного климата Прибайкалья, когда интенсивное выветривание пород шло с накоплением красноцветных отложений в виде устойчивых оксидов железа и алюминия, чему способствовала и щелочная реакция среды (табл.). Эти охристые вещества покрыли пленками галечные отложения, сформировавшиеся во время неогена. Только горизонты почвенного профиля чернозема типичного AU-BCA-BCca-Cca, развитые над отложениями аллювия (см. табл.), имеют тяжело-суглинисто- глинистый состав, что обусловлено выветриванием и ветровым переносом с окружающих горных хребтов лессовидных пылеватых частиц ледникового генезиса во время плейстоцена (24–14 тыс. л. н.). Разнообразие горных пород, сложный рельеф и геологическая история региона обусловили большое разнообразие почв Прибайкалья: от тундро-криоземов, литоземов и серогумусовых органогенно-щебнистых, лесных дерново-подбуров и дерново-подзолов, серых метаморфических, серых почв и буроземов – до степных черноземов и каштановых почв, луговых перегнойно- и торфяно-глееземов, солодей, солонцов, солончаков и др. (рис. 4), с отражением в профиле эволюционного наложения почвенных и геоморфологических процессов разных эпох и различных климатических условий.



Дерново-подбур. | Бурозем ост. карбонатный | Бурозем ожелезненный | Серая | Чернозем, типичный | Каштановая | Торфяно-глеезем

Рис. 4. Некоторые типы почв горного Прибайкалья (Приморский хребет, Приольхонье, о. Ольхон)

Литература

1. Данько Л. В., Безрукова Е. В., Орлова Л. А. Реконструкция развития геосистем Приморского хребта во второй половине голоцена // География и природные ресурсы. 2009б. No 3. С. 48–55.

2. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: Строение и геологическая история / В. Д. Мац [и др.]. Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 252 с.

3. Кононов Е. Е., Мац В. Д. История формирования стока вод Байкала // Известия вузов. Геология и разведка. 1986. С. 91–98.

4. Логачев Н. А. Ломоносова Т. К., Климанова В. М. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М. : Наука, 1964. 195 с.

5. Мац В. Д., Ефимова И. М. Геологическая история Байкала // Природа / РАН. 2017. № 3 (1219). С 13–28.

6. Мац В. Д., Ефимова И. М. Морфоструктура западного поднятого плеча Байкальского рифта // Геоморфология. 2010. № 1. С. 67–76.

7. Федоровский В. С., Владимиров А. Г., Хаин Е. В. Тектоника и магматизм коллизионных зон каледонид Центральной Азии // Геотектоника. 1995. № 3. С. 3–22.

REGIONAL GEOLOGICAL ASPECTS OF THE FORMATION OF THE ANCIENT PRA-MANZURKA RIVER STREAM FROM LAKE BAIKAL AND SOIL PROPERTIES OF THE MOUNTAIN BAIKAL REGION

N. A. Martynova[1], Ya. I. Martynov[2]
[1]Irkutsk State University, Irkutsk
[2]Irkutsk State Agrarian University, Irkutsk
natamart-irk@yandex.ru, yaroslavikm@gmail.com

Based on the analysis of alluvial deposits' of the ancient Pramanzurka River, which flowed out of Lake Baikal, the article examines the geological history of the formation of the Baikal rift zone and the orogenesis that arose in the middle of the Cenozoic (in the Oligocene) under the influence of an ascending flow of heated matter of the anomalous mantle (plume) and the stretching of the Eurasian plate as a result of its collision with the Indian plate, which led to the rupture of the ancient flow of the Pra-Manzurka River from Lake Baikal and to formation of a new hydrographic framework of the river network. The soils of the Baikal region, developed under the complex geological conditions of the region's formation, the influence of tectonics and seismic events, cold climates, and permafrost, are highly specific. They sometimes have no analogues, inheriting the superposition of soil-forming and geomorphological processes from different eras and climates in the evolutionary development of their profile.

УДК 631.4

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДОВ СУДЕБНЫХ ПОЧВОВЕДЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ В ПРАВОПРИМЕНИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. С. Мишкина

Иркутский государственный университет, Иркутск
didi.mishkina@mail.ru

Судебно-почвоведческая экспертиза – процессуальное действие, производимое в установленной законом форме лицами, обладающими специальными знаниями в области почвоведения, криминалистики и иных наук, которые дают заключение, отражающее ход и результаты исследования почвы или грунта. Основным отличием судебной экспертизы является то, что запрос на ее проведение заявляется одной из сторон судебного процесса – проводится по постановлению суда, органов следствия, дознания, таможни по уголовным, гражданским, арбитражным делам, по делам об административных правонарушениях и в рамках административного судопроизводства, а также судебных экспертиз при проверке сообщения о преступлении [2].

В классификации видов судебных почвенных экспертиз по сфере применения можно выделить следующие основные группы: эколого-почвоведческую, землеустроительную и криминалистическую.

Судебно-экологическая экспертиза (СЭЭ) – процессуальное действие лиц, которые обладают специальными знаниями и компетенциями для дачи заключения, отражающего ход и результаты исследования антропогенного воздействия на объекты окружающей среды. Экспертиза проводится в рамках дел, связанных с выявлением и документированием экологических правонарушений, таких как загрязнение почв, их деградация, несанкционированное складирование отходов и причинение ущерба земельным ресурсам. Важным аспектом в проведении таких экспертиз является расчет эколого-экономического ущерба, причиненного почвенным экосистемам [5–7].

В соответствии с ГОСТ Р 71232-2024, землеустроительная экспертиза квалифицируется как самостоятельная категория (род) судебных экспертиз, направленных на всестороннее исследование объектов землеустройства с целью получения доказательственной информации, значимой для разрешения правовых споров в судебном порядке. Данная экспертиза представляет собой многоаспектный комплекс исследовательских процедур, которые включают анализ землеустроительной документации и правоустанавливающих актов на земельные участки, а также углублённое исследование собранных материалов.

Криминалистическая почвоведческая экспертиза – это вид судебной экспертизы, применяемый в уголовном судопроизводстве для установления связи человека, предмета или животного с конкретным местом происшествия через анализ почвенных следов. Объектом судебно-почвоведческой экспертизы выступает почва, грунт, представленные в установленном законом порядке для решения задач судебно-почвоведческой экспертизы, а также объект-носитель,

под которым подразумевается предмет материального мира, представленный эксперту для производства экспертизы, на котором присутствуют следы (наслоения) почвы или грунта [2].

В ходе исследования были изучены открытые источники – картотека арбитражных дел и судебные нормативные акты РФ по судам общей юрисдикции, содержащие сведения о назначенных и проведенных судебных почвоведческих экспертизах в рамках судебных разбирательств с 2020 по 2025 г. Всего было обработано 87 дел, а именно 75 дел Арбитражного суда Иркутской области и 12 дел Иркутского областного суда и составлена база данных, которая впоследствии анализировалась [4; 8].

Суммарно по двум судам за период с 2020 по 2025 г. из 87 дел землеустроительная экспертиза использовалась в 66 случаях (76 %), почвенно-экологическая – в 21 (24 %).

Анализируя отдельно статистику для каждого из судов, можно сделать вывод: в Арбитражном суде Иркутской области зафиксировано 75 дел с участием судебной почвоведческой экспертизы, из которых 56 приходится на землеустроительную экспертизу и 19 – на почвенно-экологическую (рис. 1).

В Иркутском областном суде найдено общее число дел – 12, при этом землеустроительная экспертиза составляет 10 дел, почвенно-экологическая – 2 (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Диаграмма применение видов судебных почвоведческих экспертиз с 2020 по 2025 г.: *а* – в АС Иркутской области; *б* – в Иркутском областном суде

Для землеустроительной экспертизы в Арбитражном суде структура исков выглядит следующим образом (всего 57 исков, так как в одном деле может указываться несколько): установление сервитута – 16 дел, признание права собственности – 12, установление границ земельного участка – встречается 10 раз, прекращение права пользования – 8, исключение данных из ЕГРН – 5 дел, прочие землеустроительные споры – 6 дел (к ним относятся иски об изъятии земельного участка из чужого пользования, об устранении препятствий в пользовании, о взыскании за пользованием земельным участком по договору аренды) (рис. 2).

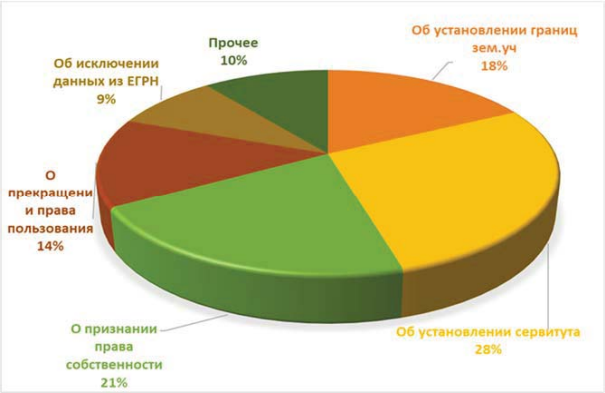


Рис. 2. Диаграмма видов иска по делам с применением судебной землеустроительной экспертизы АС Иркутской области с 2020 по 2025 г.

Наиболее частыми поводами для назначения землеустроительной экспертизы как видно являются сервитутные споры и признание права собственности, что указывает на высокую конфликтность смежных землепользований и необходимость точного почвенно-ландшафтного обоснования границ.

Для почвенно-экологической экспертизы в Арбитражном суде (всего 19 дел) основная категория – «о взыскании вреда, причиненного почвам» – 13 дел, затем «о признании недействительным решения» – 3 (16 %) и прочие экологические иски – 3. К ним относятся иски об обязанности прекратить деятельность по добыче ископаемых, о взыскании вреда, причиненного лесам, о побуждении к исполнению предписаний (рис. 3).

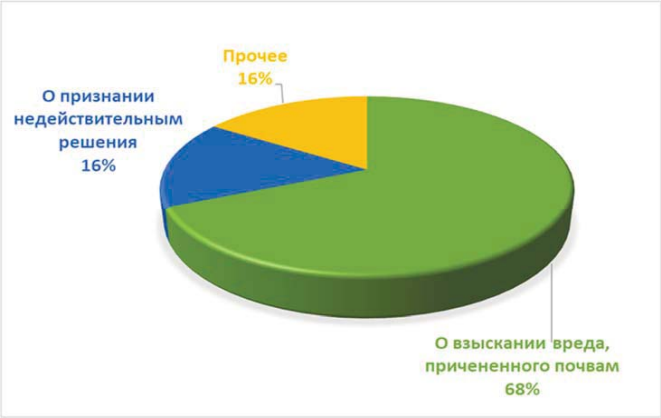


Рис. 3. Диаграмма видов иска по делам с применением судебно-экологической экспертизы АС Иркутской области с 2020 по 2025 г.

Это подтверждает, что почвенно-экологическая экспертиза в арбитраже служит преимущественно инструментом количественной оценки ущерба почвенным ресурсам.

В Иркутском областном суде по всем делам с почвоведческой экспертизой (12 дел) половина исков направлена на признание результатов недействительными, а половина относится к категории «прочее». К ним относятся иски об: оспаривании границ, признании отсутствующего права собственности, самовольном освобождении земельного участка, признании реестровой ошибки, установлении сервитута, возложении обязанности восстановления. Это может говорить о более разнородном характере споров в суде общей юрисдикции, где почвоведческие исследования востребованы при оспаривании кадастровых и межевых решений.

В Арбитражном суде по совокупности землеустроительных и почвенно-экологических дел (75 дело) исходы распределены так: иск удовлетворён полностью – 45 дел, в иске отказано – 18 дел, иск удовлетворён частично – 5 дел, производство прекращено – 7 дел (рис. 4).



Рис. 4. Диаграмма видов решения по делам с применением судебной почвоведческой экспертизы АС Иркутской области с 2020 по 2025 г.

Таким образом, почти в 60 % случаев Арбитражный суд принимает сторону истца на основе заключения почвоведческой экспертизы, а доля полных отказов более чем в два раза ниже. Это свидетельствует о высокой доказательственной ценности данных экспертиз в арбитражном процессе.

В Иркутском областном суде картина противоположная: из 12 дел иск удовлетворён только в 3 (25,0 %), а в иске отказано в 9 случаях (75,0 %).

Такое расхождение может объясняться разной природой споров: в Областном суде чаще оспариваются результаты уже проведённых землеустроительных действий (например, межевания), и суд, как правило, признаёт их законными,

либо истцы не могут преодолеть презумпцию достоверности ранее учтённых данных.

Анализ судебных почвоведческих экспертиз показывает, что их общее количество увеличивается с годами, на сегодняшний день по количеству преобладает землеустроительная экспертиза.

Литература

1. ГОСТ Р 58081-2018. Судебно-экологическая экспертиза. Термины и определения. Введ. 2018–09–01. М. : Стандартинформ, 2018. 11 с.

2. ГОСТ Р 70699-2023. Судебно-почвоведческая экспертиза. Термины и определения. Введ. 2023–07–01. М. : Рос. ин-т стандартизации, 2023. 12 с.

3. ГОСТ Р 71232-2024. Роды судебных экспертиз. Термины и определения. М. : Росс. ин-т стандартизации, 2024. 7 с.

4. Картотека арбитражных дел. URL: https://kad.arbitr.ru/ (дата обращения: 18.05.2026).

5. Об охране окружающей среды : федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ.

6. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды : приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238.

7. Санитарно-эпидемиологические требования. СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» : постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2.

8. Судебные и нормативные акты РФ. URL: https://sudact.ru/regular/?regular-txt=&regular-date_from=&regular-date_to= (дата обращения: 18.05.2026).

APPLICATION OF TYPES OF FORENSIC SOIL SCIENCE EXPERTISE IN LAW ENFORCEMENT PRACTICE OF THE IRKUTSK REGION

D. S. Mishkina
Irkutsk State University, Irkutsk, didi.mishkina@mail.ru

This article examines forensic soil science examinations as a distinct type of expertise in Russian legal proceedings. Several key types of forensic soil examinations can be distinguished by their scope of application: ecological soil science, land management, and forensic. The specific features of these examinations are discussed. The study examined open sources–arbitration case files and judicial regulations of the Russian Federation for courts of general jurisdiction–containing information on commissioned and completed forensic soil science examinations in legal proceedings from 2020 to 2025. A total of 87 cases were processed, including 75 from the Arbitration Court of the Irkutsk Region and 12 from the Irkutsk Regional Court, and a database was compiled for subsequent analysis.

УДК 579.841:631.466

ФЕНОТИПИЧЕСКИЕ И ГЕНОМНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШТАММА *LYSOBACTER* ANTIBIOTICUS HZ25 ИЗ РИЗОСФЕРЫ *HEDYSARUM ZUNDUKII* (МЫС ЗУНДУК, ПРИБАЙКАЛЬЕ) В КОНТЕКСТЕ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ КАРБОЛИТОЗЕМА

Ю. В. Нурминская, И. С. Петрушин, И. М. Романова, М. С. Третьякова, Ю. А. Маркова

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск
julosti@yandex.ru

Район мыса Зундук (Западное Прибайкалье) находится в аридном секторе побережья Байкала в зоне активной тектоники Байкальского рифта. Современный почвенный покров здесь представлен карболитоземом темногумусовым на элювии плотных карбонатных пород. Эти маломощные щебнистые почвы отличаются щелочной реакцией (pH 8,7), аномально высоким содержанием гумуса (12 %) и обменного кальция при остром дефиците доступного фосфора и железа. Согласно палеогеографическим реконструкциям, данные свойства сформировались в ходе длительной эволюции: в атлантический оптимум голоцена (10–6 тыс. л. н.) на фоне тектонической активности и заполнения сейсмогенных трещин окарбоначенным суглинком шло активное гумусонакопление, а сменившие его аридизация и похолодание в суббореале–субатлантике (последние 6 тыс. лет) при крайне низкой скорости седиментации законсервировали органику и карбонаты [1; 2].

Реликтовый характер ландшафта подчеркивается наличием криогенных признаков, унаследованных от плейстоценовых похолоданий, и железистых пятен в профиле – возможных следов позднеледникового оглеения или выветривания железистых минералов. Сочетание жестких эдафических условий, сформировавшихся в ходе длительной голоценовой аридизации (карбонатность, сухость, низкая трофность) и длительной геоклиматической стабильности [1] определило формирование здесь уникальной экологической ниши для эндемичных видов.

Из ризосферы узколокального эндемика *Hedysarum zundukii* Peschkova был выделен штамм *Lysobacter antibioticus* Hz25. Целью данной работы было исследовать молекулярные механизмы адаптации штамма Hz25 к комплексу экстремальных факторов карболитозёма.

Материалы и методы. Геном штамма Hz25 секвенирован на платформе Illumina, собран и аннотирован [4]. Филогенетический анализ подтвердил принадлежность к виду L. antibioticus. Анализ пангенома выявил 554 уникальных гена. Фенотипические тесты включали оценку подвижности, синтеза экзополисахаридов (ЭПС), сидерофорную активность (CAS-тест), солюбилизацию фосфатов и кальцификацию биоплёнок [3].

Результаты и обсуждение. Геном Hz25 (5,98 млн п. н., GC-состав 66,94 %) характеризуется высокой полнотой (BUSCO 98,9 %). Более 10 % пангенома со-

ставляют штамм-специфичные гены, что указывает на глубокую адаптацию к условиям карболитозёма. Hz25 реализует стратегию активного преобразования среды для защиты от стрессовых факторов (табл.).

Таблица

Молекулярные основы адаптации штамма Hz25 к условиям карболитозёма

Функция	Гены/белки
Преобразование среды, создание микрониш	Карбоангидраза (XLM93758), белок с Excalibur-доменом (XLM94878), Na^+/Ca^{2+}-антипортер (XLM96556), более 40 гликозилтрансфераз, c-di-GMP-сигналинг
Осмопротекция	ProB, ProA, ProC, RocD, PutA
Шапероны	DnaK, DnaJ, GrpE, GroEL/ES, ClpB, HslO, Hfq
Антиоксиданты	Глутатион (синтез и восполнение), пероксиредоксин, каталаза-пероксидаза, флавогемоглобин
Адаптация состава мембран	Полный набор генов синтеза различных ЖК, Δ9-десатураза (XLM94285), DesA (XLM95767), белок холодового шока (XLM93645)
Захват и запасание железа	Лизохелин, FeoAB, 5 TonB-рецепторов, рецептор гема (XLM96840), бактериоферритин, ферриредуктаза
Захват фосфора	PhoR/PhoB, фосфолипазы C (XLM94164, XLM93787)
Хищничество	Хитиназы GH18/GH19, металлопептидаза M4, пептидазы Blp, амидаза Ami, пили IV типа

Ключевой адаптацией к высоким концентрациям Ca^{2+} у Hz25 служит оперон, кодирующий белок с Excalibur-доменом и Na^+/Ca^{2+}-антипортер. Он дополняется периплазматической β-класс карбоангидразой, катализирующей гидратацию CO_2 до HCO_3^-. В щелочной среде это приводит к формированию ионов CO_3^{2-}, которые, взаимодействуя с Ca^{2+}, образуют $CaCO_3$. Экспериментально показано, что Hz25 формирует биоплёнки с карбонатной составляющей, очевидно, выполняющие роль физической защиты от УФ-излучения и засухи. Кроме того, компартменты карбонатной биоплёнки могут также служить микронишами для создания оптимального pH. Следует отметить, что геном содержит полную систему синтеза и модификации ЭПС (более 40 гликозилтрансфераз, 4 деацетилазы) и систему c-di-GMP-сигналинга, регулирующую переход от планктонной формы существования к формированию биоплёнки.

Молекулярная защита от осмотического, температурного и окислительного стресса особенно важна в условиях карболитозёма мыса Зундук, так как аридность и высокая инсоляция создают значительный осмотический и окислительный стресс. Геномный анализ выявил разветвлённую систему синтеза совместимых растворимых веществ. Штамм Hz25 обладает полным путём биосинтеза

пролина *de novo* (ProB, ProA, ProC), а также альтернативным путём через орнитин-аминотрансферазу (RocD), что обеспечивает избыточность этого важного пути осмопротекции. Утилизация пролина после исчезновения стрессирующего фактора контролируется бифункциональным ферментом PutA.

Протеостаз в условиях обезвоживания поддерживается полным набором молекулярных шаперонов, включая систему DnaKJ-GrpE, шаперонин GroEL/ES и дезагрегазу ClpB. Особый интерес представляет наличие Hsp33-подобного шаперона HslO, активируемого окислительным стрессом, и РНК-шаперона Hfq, являющегося общим регулятором стрессового ответа. Антиоксидантная защита представлена как ферментными системами (пероксиредоксин, каталаза-пероксидаза, флавогемоглобин для детоксикации NO), так и полной системой глутатиона, включающей гены его синтеза и рециклинга (γ-глутамилтрансфераза).

Мембранные адаптации включают полный набор генов синтеза жирных кислот, в том числе гены двух десатураз (Δ9-ацил-КоА-десатуразы и DesA-типа), а также белок холодового шока с трансмембранным якорем, что в сочетании с характерным профилем жирных кислот (доминирование anteiso-15:0 над anteiso-17:0) обеспечивает конститутивную устойчивость к перепадам температур и осмотическому стрессу.

Низкое содержание доступного железа и фосфора в почве мыса Зундук Hz25 компенсирует за счёт стратегии добычи ресурсов путём хищничества. Система захвата железа включает ферриредуктазу, FeoAB-систему, пять TonB-зависимых рецепторов сидерофоров, рецептор гема/гемоглобина и бактериоферритин для хранения железа. Выявлены гены синтеза сидерофора лизохелина и спермидина; сидерофорная активность подтверждена экспериментально.

Дефицит фосфора штамм Hz 25 преодолевает как путём солюбилизации нерастворимых фосфатов (что показано в культуральных экспериментах), так и за счёт двух фосфохолин-специфичных фосфолипаз С, разрушающих мембраны бактерий-жертв с высвобождением фосфохолина.

Штамм Hz25 демонстрирует микрохищническое поведение, обеспеченное обширным арсеналом литических ферментов: хитиназами (GH18, GH19), дрожжелитической металлопептидазой M4, пептидазами Blp и L4-амидазой. Экспериментально подтверждена способность лизировать клетки бактерий и грибов. Подвижность, необходимая для поиска жертвы и прикрепления к поверхностям, реализуется посредством пилей IV типа, гены синтеза и регуляции которых (PilA, PilG-Q, PilZ-PilB) присутствуют в геноме. Интеграцию адаптивных ответов обеспечивают двухкомпонентные системы (PhoR/PhoB, CreC/CreB) и LuxR-регуляторы чувства кворума.

Проведённое исследование раскрывает ранее не описанную для рода *Lysobacter* стратегию выживания в экстремальных условиях карболитозёма. Показано, что штамм Hz25 использует ионы Ca2+ для строительства карбонатной биоплёнки, формируя микрорельеф своей ниши. Также выявлена избыточная, автономная система осмопротекции, включающая два независимых пути синтеза пролина и замкнутый цикл его утилизации через PutA. Полученные ре-

зультаты создают основу для дальнейшего изучения роли бактериальной биоминерализации в почвообразовательных процессах аридных территорий Прибайкалья, а также раскрывают молекулярные основы выживания хищных бактерий в экстремальных экосистемах.

Литература

1. Кузьмин С. Б. Палеогеографические события Прибайкалья в позднем неоплейстоцене и голоцене // Географический вестник. 2017. № . 4 (34). С. 22–38.

2. Изучение рыхлых отложений побережья и акватории Малого Моря на Байкале для восстановления природно-геодинамических обстановок в позднеледниковье и голоцене / С. Б. Кузьмин, О. М. Хлыстов, П. А. Мехоношин, А. Д. Абалаков, С. И. Шаманова // Географический вестник. 2016. № . 1 (36). С. 23–36.

3. Characterization of *Lysobacter* sp. strain Hz25 isolated from the rhizosphere of the endemic Baikal plant *Hedysarum zundukii* (Fabaceae) / Y. V. Nurminskaya, I. S. Petrushin, M. S. Karepova, Y. A. Markova // Microbiology. 2025. Vol. 94. Suppl. 1. P. S112-S116.

4. Petrushin I. S., Nurminskaya Y. V., Markova Y. A. Genomic faeatures of the micropredator *Lysobacter* sp. Hz25 isolated from the rhizosphere of *Hedysarum zundukii* // International Journal of Molecular Sciences. 2026. Vol. 27, N 9. P. 3800.

PHENOTYPIC AND GENOMIC FEATURES OF *LYSOBACTER ANTIBIOTICUS* HZ25 FROM THE RHIZOSPHERE OF *HEDYSARUM ZUNDUKII* (CAPE ZUNDUK, BAIKAL REGION) IN THE CONTEXT OF ADAPTATION TO CARBOLITHOSOL CONDITIONS

Yu. V. Nurminskaya, I. S. Petrushin, I. M. Romanova, M. S. Tretyakova, Yu. A. Markova
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk
julosti@yandex.ru

The strain *Lysobacter antibioticus* Hz25 was isolated from the rhizosphere of the narrow endemic plant *Hedysarum zundukii*, which inhabits the extreme carbolithosols of Cape Zunduk (Western Baikal region). These soils are characterized by high alkalinity (pH 8.7), abundant calcium (>5000 mg/kg), and severe deficiencies of available iron and phosphorus. Whole-genome sequencing (5.98 Mbp, 66.94 % GC, BUSCO 98.9 %) revealed 554 strain-specific genes, indicating pronounced genomic plasticity underlying adaptation to this unique habitat. We identified a three-component "autonomous fortress" survival strategy. First, environmental engineering: the strain employs a periplasmic β-class carbonic anhydrase and a Na^{+}/Ca^{2+} antiporter to precipitate excess calcium as protective carbonate biofilms. Second, multi-level molecular defense against drought: two independent proline biosynthesis pathways (ProB→ProA→ProC and RocD→ProC), a complete chaperone machinery (DnaKJ–GrpE, GroEL/ES, ClpB, HslO, Hfq), and a full glutathione-based antioxidant system were identified. Third, predatory resource acquisition: iron and phosphorus starvation is overcome through the synthesis of the siderophore lysochelin, an arsenal of lytic enzymes (chitinases GH18/GH19, metallopeptidase M4, peptidases Blp, L4-amidase Ami), and type IV pili-mediated motility. Experimentally confirmed phenotypes include calcium carbonate biomineralization, siderophore activity, phosphate solubilization, and lytic activity against both bacterial and fungal cells. Taken together, our findings portray *L. antibioticus* Hz25 not as a passive stress tolerator, but as an active ecosystem engineer that converts extreme environmental constraints into competitive advantages through biogeochemical engineering, metabolic autonomy, and predatory behavior.

УДК 631.415.1+631.481

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ КИСЛОТНЫЙ СЛЕД ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ПОЧВ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА

А. А. Палкина, Н. С. Мерзляков, И. А. Самофалова

Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь
uav@pgatu.ru, samofalovairaida@mail.ru

Кислотно-основное состояние является одним из фундаментальных свойств почв, определяющих направленность почвообразовательных процессов, доступность элементов питания для растений, активность почвенной биоты и миграционную способность химических элементов [3; 4–7].

Для понимания природы почвенной кислотности разных типов почв, сформированных в разных ландшафтах, под разной преобладающей растительностью, обратились к концепции кислотного следа почвообразования посредством создания *V*-диаграмм [1; 2].

Цель исследования – изучить кислотный след почвообразования почв различного генезиса.

Кислотный след почвообразовательного процесса – трехмерный след, который отражает распределение кислотности по почвенному профилю, обычно представлен графически на V-диаграмме. В работе Ю. А. Кокотова подробно описаны V-диаграммы, условия расположения кислотных следов в поле кислотности [1]. Анализ и сравнение V-диаграмм позволяет выявлять типовые и индивидуальные различия и их возможные причины, а в целом лучше понять природу почвенной кислотности. Приведены описания составляющих графика (ординаты pH_{KCl} (верхняя линия) и pH_{H2O} (нижняя линия) и абсциссы $V_{гк}$).

Пермский край имеет обширную территорию на западных склонах Уральского хребта, что обусловливает значительное разнообразие его ландшафтов и природных условий. В результате длительного взаимодействия геологических, климатических и биологических процессов формируются почвы различного генезиса, включая подзолистые, дерново-подзолистые, аллювиальные и серые лесные. Несмотря на такое различие в происхождении, подавляющее большинство этих земель характеризуется повышенной кислотностью, что объясняется обильным увлажнением, интенсивным выщелачиванием и преобладанием таежно-лесной растительности. Для рационального освоения аграрного потенциала Пермский край зонирован на несколько природных сельскохозяйственных районов, границы которых проводятся с учетом гидротермического режима, характера рельефа, гидрографической сети, освоенности территории.

Кислотный след почвообразования изучали в почвах разного генезиса, соответствующих различным природно-сельскохозяйственным районам Пермского края (табл.).

Таблица

Природные условия формирования исследуемых почв по ПСХР

Природно-сельскохозяйственный район (ПСХР)	Муниципальный округ, хозяйство	Сумма температур, °С	Осадки, мм	Название почвы (№ разреза)
Центрально-восточный южно-таежно-лесной район	Пермский, д. Соболи	1700–1900	450–600	Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на элювии пермских глин (3)
Юго-восточный лесостепной район	Березовский, д. Перебор	1800–2000	450–600	Светло-серая лесная тяжелосуглинистая почва на лессовидных глинах и суглинках (4)
Юго-восточный лесостепной район	Ординский, ООО "СП Правда"	1900–2100	470–500	Дерново-грунтово-глееватая многогумусная тяжелосуглинистая на делювиальных отложениях (1)
Центрально-восточный южно-таежно-лесной район	Чусовской, д. Мульково	1700	500–700	Аллювиальная луговая тяжелосуглинистая (6)
Центрально-восточный южно-таежно-лесной район	Губахинский, г. Гремячинск, ООПТ	1700–1900	550–700	Бурозем глинисто-иллювиированный (62)

Анализ профильного распределения показателей pH_{H2O} и pH_{KCl}, а также разности ΔpH позволяет выявить интенсивность процессов оподзоливания, подщелачивания оснований и степень насыщенности почвенно-поглощающего комплекса. Кислотный след почвообразования рассмотрен в почвах, в которых проявляются условия, когда выщелачивание протекает одновременно с активным накоплением гумусовых веществ. Приведена характеристика кислотного следа почообразования почв Пермского края.

На рис. 1 представлены кислотные следы почв с кислой реакцией среды и выраженной профильной дифференциацией: дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая почва на элювии пермских глин (А), светло-серая лесная тяжелосуглинистая почва на лессовидных глинах и суглинках (Б), бурозем глинисто-иллювиированный (В).

Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая почва на элювии пермских глин (центрально-восточный южно-таежно-лесной район, водораздельное плато). Показатель кислотности водной вытяжки проявляет плавный градиент подщелачивания с глубиной: от 5,7 в пахотном горизонте до 7,3 в переходном горизонте BC. Значения в элювиальной части ($A_{пах}$-A_2B) соответствуют слабокислой реакции. Показатель кислотности солевой вытяжки характеризуется стабильно низкими значениями в верхней и средней частях (3,7–3,9), что указывает на высокую концентрацию ионов H^+ и Al^{3+}. Разность показателей ΔpH по всему профилю превышает 1,5 (диапазон от 1,5 до 2,6), что свидетельствует о преобладании обменной кислотности.

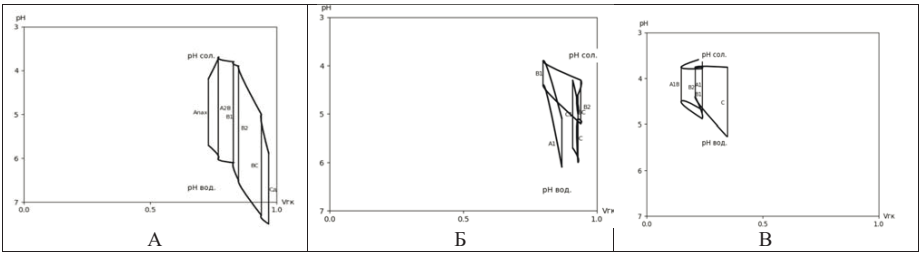


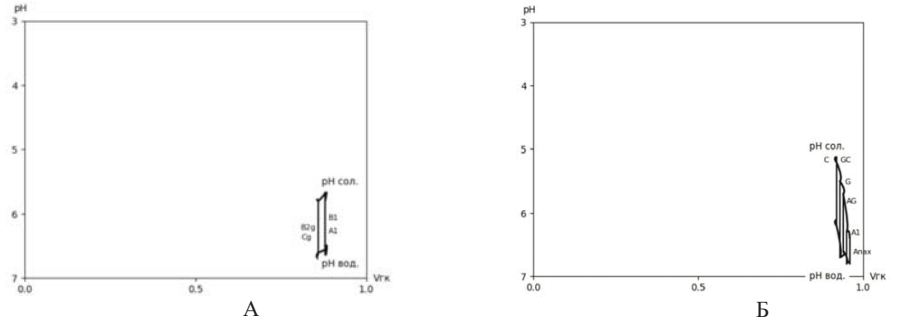
Рис. 1. Кислотные следы почв с кислой реакцией и выраженной профильной дифференциацией: А – дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая почва на элювии пермских глин (д. Соболи Пермского округа); Б – светло-серая лесная тяжелосуглинистая почва на лессовидных глинах и суглинках (д. Перебор Березовского округа), В – бурозем глинисто-иллювиированный (г. Гремячинск Губахинского округа)

Светло-серая лесная тяжелосуглинистая почва на лессовидных глинах и суглинках (юго-восточный лесостепной район). Показатель кислотности водной вытяжки демонстрирует сложную профильную динамику с резкой дифференциацией: от 6,1 в горизонте A_1 до 4,4 в элювиальном горизонте A_2B_1, с последующим постепенным подщелачиванием в иллювиальной части профиля. Резкое снижение pH до кислой реакции в горизонте A_2B_1 свидетельствует о проявлении элювиального процесса. Показатель pH_{KCl} характеризуется выраженной дифференциацией: минимальные показатели фиксируются в горизонте A_2B_1 (3,9). Минимальные значения ΔpH (0,5) в горизонтах A_2B_1 и BC свидетельствуют о преобладании актуальной кислотности в элювиальной части профиля.

Бурозем глинисто-иллювиированный (центрально-восточный южно-таежно-лесной район). Показатель кислотности водной вытяжки характеризуется устойчиво кислой реакцией среды в верхней и средней частях профиля (4,40–4,88) с резким подщелачиванием до 5,28 в горизонте С. Реакция среды солевой вытяжки демонстрирует выровненные низкие показатели по всему профилю (3,51–3,79). Показатель ΔpH варьирует в диапазоне от 0,63 до 1,52, что свидетельствует о преобладании обменной кислотности.

Почвы, с преобладающим проявлением дернового процесса и, соответственно, близкой к нейтральной реакцией среды и выровненным кислотным основным режимом представлены на рис. 2.

Дерново-грунтово-глееватая многогумусная тяжелосуглинистая почва на делювиальных отложениях (юго-восточный лесостепной природный сельскохозяйственный район). Реакция среды водной вытяжки характеризуется стабильно близкой к нейтральной по всему профилю: от 6,7 в гумусовом горизонте A_1 до 6,5 в иллювиальном B_1. Показатель кислотности pH_{KCl} также демонстрирует выровненные показатели в узком диапазоне 5,6–5,8, что указывает на низкую концентрацию обменных ионов H^+ и Al^{3+}. Разность показателей ΔpH составляет 0,8–0,9 по всем горизонтам, что свидетельствует о сбалансированном соотношении актуальной и обменной кислотностей.



А Б

Рис. 2. Почвы с близкой к нейтральной реакцией и выровненным кислотно-основным режимом: А – дерново-грунтово-глееватая многогумусная тяжелосуглинистая почва на делювиальных отложениях (ООО «СП Правда» Ординского округа); Б – аллювиальная луговая тяжелосуглинистая (д. Мульково Чусовского округа)

Аллювиальная луговая тяжелосуглинистая почва (пойменные ландшафты рек Чусовая и Лысьва). Реакция среды водной вытяжки характеризуется стабильно близкой к нейтральной pH: значения варьируют в узком диапазоне от 6,1 в горизонте C до 6,9 в верхнем подгоризонте $A_{пах}$. Показатель кислотности pH_{KCl} также показывает выровненные показатели в диапазоне 5,1–6,4. Разность показателей варьирует от 0,1 до 1,2: минимальные значения 0,1–0,6 в верхних горизонтах свидетельствуют о преобладании актуальной кислотности, тогда как увеличение ΔpH до 0,9–1,2 в глееватых горизонтах указывает на усиление обменной кислотности.

Дифференцированный кислотный след почвообразования исследованных почв выявил существенные различия, обусловленные их генезисом, ландшафтными условиям и пр. Наибольшей профильной дифференциацией характеризуются дерново-слабоподзолистая (ΔpH 1,5–2,6) и светло-серая лесная (ΔpH 0,5–1,4) почвы, где доминирует обменная кислотность с резким падением pH в элювиальных горизонтах, что отражает интенсивность процессов оподзоливания. Напротив, дерново-грунтово-глееватая и аллювиальная луговая почвы демонстрируют выровненный кислотно-основный режим с реакцией, близкой к нейтральной, что обусловлено влиянием грунтовых вод, делювиальным и аллювиальным накоплением оснований, а также высоким содержанием гумуса. Бурозем глинисто-иллювиированный имеет промежуточное положение с устойчиво кислой реакцией и стабильно низкими значениями pH солевой вытяжки, что свидетельствует о преобладании обменной кислотности. Можно отметить, что почвы с преобладающим дерновым процессом развития образуют кислотный след в правой нижней части поля кислотности.

Литература

1. Кокотов Ю. А. Анализ показателей кислотности почвенного профиля и их связи с процессом почвообразования //Почвоведение. 2016. № 1. С. 3–10.

2. Кокотов Ю. А. Поле кислотности почв, как ионообменных систем, и диагностика генетических горизонтов //Почвоведение. 2014. № 12. С. 1448–1459.

3. Палкина А. А. Методы интерпретации кислотно-основных свойств почв // Молодёжная наука 2024: технологии, инновации : материалы Всерос. науч.-практ. конф. мол. учёных, аспирантов и студентов, посвящённой Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации. Пермь, 2024. С. 274–277.

4. Сайранова П. Ш., Самофалова И. А. Кислотный след в буроземах Среднего Урала // Почвы и палеопочвы как источник информации о природной среде прошлого : материалы X Междунар. науч. молодеж. шк. по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск, 1–6 авг. 2019 г. / отв. ред. М. И. Дергачева. Новосибирск : Новосиб. издат. дом, 2019. С. 89–92.

5. Сайранова П. Ш., Самофалова И. А. Кислотно-основные свойства горных почв на северном и среднем урале // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 94–97.

6. Шамрикова Е. В. Кислотно-основная буферная способность почв таежной зоны Республики Коми // Вестник Московского университета. Серия 17, Почвоведение. 2025. Т. 80, № 1. С. 90–97.

7. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.

DIFFERENTIATED ACIDIC TRACE OF SOIL FORMATION IN SOILS OF DIFFERENT GENESIS

A. A. Palkina, N. S. Merzlyakov, I. A. Samofalova
Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov
Perm, uav@pgatu.ru, samofalovairaida@mail.ru

The article examines the features of the acid trace of soil formation in soils of different genesis within the Perm region territory. The study is based on the analysis of the profile distribution of pH_{H_2O}, pH_{KCl}, and ΔpH values. V-diagrams were used to characterize the acid–base state of the soil profile. Soddy weakly podzolic soils, light gray forest soils, brown forest soils, soddy gleyic soils, and alluvial meadow soils formed under various natural-agricultural and landscape conditions were investigated. It was established that the most pronounced profile differentiation of acidity is characteristic of soddy weakly podzolic and light gray forest soils, where intensive podzolization processes are accompanied by the predominance of exchange acidity and a sharp decrease in pH values in eluvial horizons. Soddy gleyic and alluvial meadow soils are characterized by a more uniform acid–base regime and a soil reaction close to neutral. Which is due to the influence of groundwater, accumulation of base cations, and high humus content. Clay-illuvial brown forest soil occupies an intermediate position and is characterized by a consistently acidic reaction and the predominance of exchange acidity. The obtained results confirm that the acid trace of soil formation is an informative indicator of the direction of soil-forming processes and reflects the influence of genesis, granulometric distribution, and landscape conditions on the formation of acid–base properties of soil.

УДК 631.4

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ КУЗБАССА

О. И. Подурец

Кемеровский государственный университет, Новокузнецк
glebova-podurets@mail.ru

Процесс замещения естественных ландшафтов на техногенные в Кемеровской области характеризуется положительной динамикой [5]. Разнообразие форм нарушений, их разномаштабность, как по площади, так и по глубине проявления, определяет необходимость мониторингового контроля за этими образованиями и изучения динамики их эволюционирования. Негативным результатом развития является процесс отторжения из хозяйственного оборота высокопродуктивных сельскохозяйственных земель, представленных в регионе черноземными и серыми лесными почвами, и образование на их месте нарушенных антропогенной деятельностью техногенных почвоподобных образований (эмбриоземов и техноземов), длительно закрепляющихся в ландшафте [1; 4; 5]. Данные почвы не рассматриваются в единой системе с естественными почвами, и представляют группу техногенных поверхностных образований, прочно внедряющихся в общую структуру почвенного покрова с прогнозом на увеличение их площади.

Инициальные экосистемы техногенных ландшафтов являются удобными моделями для исследования сингенетических сукцессий, характеризующихся проявлением скорости и направленности экогенеза, а также отдельных элементарных процессов почвообразования [1; 4; 5].

Почвенная структура – один из важных показателей развития почвенных функций в самовосстанавливающихся техногенных ландшафтах. Механизм структурообразования почвы сложен и зависит от минералогического состава почвообразующих пород, которые в рассматриваемых техногенных ландшафтах представлены хаотичной смесью вскрышных и вмещающих горных пород, свойств поступающего органического вещества, качественно и количественно связанного с формируемыми растительными группировками первичной сукцессии.

Каждый тип почвы техногенного ландшафта, несмотря на большую мозаичность техногенного ландшафта, будет приурочен к местообитанию в экологическом пространстве с характерным набором факторов почвообразования. В местообитаниях с наиболее благоприятными условиями, хотя скорость эволюции будет выше, но техногенный режим этих почвоподобных образований будет сохраняться в пределах длительного времени [1; 5].

Объектом исследования являются одновозрастные (более 60 лет) почвы техногенных ландшафтов, которые отнесены к типу гумусово-аккумулятивных эмбриоземов и дифференцированных техноземов [1; 5].

Почвы формируются в пределах смежных с ними зональными почвами в зоне расчлененной лесостепи и лесостепи предгорий Мариинско-Ачинского

почвенного округа. Климат умеренно континентальный, среднее количество осадков 593 мм/год; температура июля 19–21 °С, января –18,4 °С; продолжительность безморозного периода 90–120 дней; сумма активных температур (выше 10 °С) 1800–1900 °С [3].

Данные условия в целом являются благоприятными для формирования растительного покрова [3]. На исследуемых гумусово-аккумулятивных эмбриоземах, формируемых на отвале вскрышных и вмещающих горных пород, представленных хаотичной смесью аргиллитов, углистых алевролитов и суглинков, сформированы злаково-разнотравная (Э1) и древесно- кустарниковая (Э2) растительные группировки [4; 5]. Техноземы, формируются на техногенно-преобразованном ландшафте, где был снят почвенно-плодородный слой и лессовидные суглинки до плотных осадочных пород, представленных алевролитами и аргиллитами, но в ряде участков суглинистый слой сохранился [4].

Все техноземы относятся к типу дифференцированных, но характеризуются рядом признаков, которые будут определять их подтиповой уровень. Выявлены следующие подтипы техноземов: 1) с простым неполноразвитым профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с разреженным травянистым покровом на плотных осадочных породах (Т1); 2) с простым неполноразвитым профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с развитым травянистым покровом на остаточным слое суглинка, мощностью 50–100 см (Т2); 3) с простым примитивным профилем, развивающиеся под пологом злаково-разнотравных группировок с остаточным слоем суглинка мощностью более 100 см (Т3); 4) со сложным неполноразвитым профилем, характеризующиеся переслоением горизонтов и наличием суглинка различной мощности (Т4) [4].

Все типы характеризуются дифференцированностью на генетические горизонты ($А_0$+А+АВ+ВС+С+Д), но в силу недостаточности времени формирования, отличаются малопрофильностью (max мощность гумусово-аккумулятивного горизонта (10 см) отмечена в техноземе (Т3), а мощность профиля от А до С(Д) составляет 30–40 см, поэтому отбор образцов ограничивался данной глубиной. Техноземы и эмбриоземы расположены на выровненных поверхностях, поэтому влияние рельефа на перераспределение фракций исключается, поэтому ключевыми факторами на формирование структуры почв выделены особенность сложения почвообразующих пород и особенность формируемой растительности [4]. Показатели, которые анализировались для оценки развития процессов структурообразования определялись общепринятыми методами: структурно-агрегатный состав по Н. И. Саввинову, гранулометрический состав по Рутковскому, коэффициент структурности – расчетным методом [2; 6].

Существенное влияние на развитие почв оказывает фракционный состав пород. Установлено, что наличие большого количества крупнообломочного материала приводит к ухудшению физических свойств, резкому снижению влагоемкости, к увеличению водопроницаемости и ухудшению обеспеченности почвы питательными веществами [1; 5; 6]. Если в качестве почвообразующих пород в эмбриоземах служат хаотичные смеси пород, скелетная часть которых

представлена обломками различных горных пород любых размеров, то в техноземах литогенная часть преобразована частично. На ряде участков сцементированные осадочные почвообразующие породы сохранили свою естественную сложенность, а на других участках в качестве почвообразующих пород выступают переотложенные и частично сохранившиеся суглинки.

Хаотичная смесь каменистых фракций и мелкозема обусловливает экологическую пестроту и, как следствие, различную скорость естественного восстановления биоценозов и почв [1; 5; 6]. Варьирование показателей фракционного состава пород наблюдалось у всех типов почв. По обобщенным показателям некоторые закономерности в распределении фракций по типам эмбриоземов и техноземов просматриваются достаточно ясно (табл. 1).

Таблица 1

Структурный состав (сухое просеивание) эмбриоземов и техноземов

Тип почвы	Глубина пробы (см)	Содержание фракций, %; размер агрегатов, мм								
		> 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25
Э1	0–10	13,15	17,98	23,24	19,68	11,11	9,45	2,92	0,79	1,68
	10–20	27,39	10,33	12,64	22,30	12,04	9,38	2,26	1,02	1,62
	20–30	38,73	17,10	14,45	10,56	7,17	4,97	1,99	0,67	4,36
Э2	0–10	20,93	8,93	20,68	16,69	12,73	12,89	5,48	1,05	1,20
	10–20	25,0	10,13	27,53	11,00	10,1	12,53	3,33	0,33	0,03
	20–30	31,73	11,57	15,13	19,27	10,63	6,71	1,12	0,46	3,36
Т1	0–10	24,33	15,46	9,03	12,53	12,17	15,15	3,61	3,75	3,96
	10–20	29,57	13,07	11,05	13,99	9,82	12,23	5,76	2,57	1,86
	20–30	30,69	12,04	11,08	13,45	9,17	12,66	3,96	4,57	1,84
Т2	0–10	10,07	6,27	8,80	17,43	15,50	18,13	6,83	6,67	10,30
	10–20	10,32	10,45	9,19	16,15	14,82	16,15	6,87	6,03	10,02
	20–30	16,67	13,08	9,99	15,30	10,74	13,85	4,49	6,86	9,45
Т3	0–10	16,40	7,72	13,88	18,86	16,99	11,66	6,32	3,67	4,50
	10–20	20,47	10,35	9,17	14,08	11,15	15,75	6,05	6,10	6,87
	20–30	20,53	14,93	11,53	14,70	10,35	8,35	7,27	5,13	7,23
Т4	0–10	21,74	8,65	7,03	11,42	9,72	15,68	6,07	9,32	12,41
	10–20	18,02	7,68	8,34	12,53	11,08	19,44	7,76	7,55	8,54
	20–30	28,55	11,18	9,47	11,97	9,47	15,59	5,02	4,57	2,70

Во всех типах почв отмечается с глубиной почвенного профиля увеличение содержания глыбистых макроагрегатов >10 мм, что и определяет глыбистый характер литогенной части профиля. Пылеватые фракции (<0,25 мм), малоценные в агрономическом отношении, но способствующие подтягиванию влаги из нижележащих слоев к поверхности испарения, составляют 5–10 % во всех генетических горизонтах техноземов, за исключением технозема, формирующегося на плотных породах, количество данной фракции в котором, составляло около 4 %, что схоже с данными профиля эмбриоземов. Наиболее благоприятный водно-воздушный режим почвы, обусловливает комковато-зернистая структура, которая изначально отсутствует в почвах техногенных ландшафтов, но за счет развития биологических процессов, а также за счет процессов физического выветривания в верхних и поверхностных горизонтах и

внутрипрофильного перемещения частиц в ходе чередующегося переувлажнения и высушивания субстрата (лессиваж и партлювация) приводит к увеличению мелкозема (табл. 2).

Таблица 2

Фракционный состав и коэффициент структурности эмбриоземов и техноземов

Тип почвы	Глубина пробы (см)	Коэффициент структурности	Содержание фракций, в %		
			каменистой, > 3 мм	мелкозема, < 1мм	< 0,005 мм в мелкоземе
Э1	0–10	2,05	64,05	5,39	12,09
	10–20	1,52	72,66	4,90	17,76
	20–30	0,71	80,84	7,02	13,60
Э2	0–10	2,24	60,23	7,73	14,24
	10–20	1,84	73,66	3,69	14,74
	20–30	1,14	77,70	4,94	8,70
Т1	0–10	1,29	61,35	11,32	12,08
	10–20	1,25	67,68	10,19	11,33
	20–30	1,23	67,26	10,37	11,03
Т2	0–10	2,38	42,57	23,80	13,60
	10–20	2,25	46,11	22,92	21,52
	20–30	1,56	55,04	20,80	14,74
Т3	0–10	2,49	56,86	14,49	23,80
	10–20	1,67	54,07	19,02	19,26
	20–30	1,34	61,69	19,63	18,55
Т4	0–10	1,38	48,84	27,80	14,08
	10–20	1,95	46,57	23,85	18,56
	20–30	1,32	61,17	12,29	11,33

Увеличение количества мелкозема в верхних горизонтах способствует некоторому дополнительному удержанию влаги, достаточному для развития растительных группировок. Однако высокое содержание грубообломочного материала в эмбриоземах свидетельствует о сохраняющемся ксероморфизме местообитания [1]. В силу малого периода времени существования почв процессы гомогенизации фракций не успевают развиваться. Накопление мелкоземистой фракции с глубиной идет по возрастающей от гумусово-аккумулятивных эмбриоземов, формируемых на смеси вскрышных и вмещающих породах, до техноземов формируемых на остаточном слое суглинка. Несмотря на общее высокое содержание каменистой фракции в профиле эмбриоземов, заметно уменьшение камней до 60–64 % в корнеобитаемом горизонте в следствии физического и биогенного разрушения обломочного материала и о захвате физическими и биологическими процессами выветривания только верхних горизонтов.

По гранулометрическому составу мелкозема эмбриоземы относятся к крупнопесчано-пылеватым супесям [5], техноземы к суглинкам. Для почв характерна внутрипрофильная неоднороднородность гранулометрического состава, характеризуемая по содержание глинистых частиц (<0,005 мм), определяемых в зависимости от прироста объема при набухании [2]. Повышение илистой фракции в нижних слоях происходит за счет суспензионного выноса пылеватоиловатых частиц, характерного для почв, формируемых на отвалах [1].

Убедительной характеристикой структурного состава почвы является коэффициент структурности. Установлено, чем он больше, тем лучше структура почвы [6]. Для всех типов почв отмечено снижение данного показателя с глубиной профиля, наибольшее значение отмечено в гумусово-аккумулятивных горизонтах всех почв. Наибольший коэффициент характерен для технозема, развивающиеся под пологом злаково-разнотравных группировок с остаточным слоем суглинка. Очевидно, что уже в начале развития биогеохимических процессов, мощная корневая система злаковых закрепляет мелкозем [4]. Это приводит к аккумулированию продуктов физической и биогенной дезинтеграции в дерновом и гумусовом горизонтах. Проявляется она наиболее отчетливо в органогенной части профиля почв, где наиболее динамично развиваются процессы взаимодействия органических соединений и минеральной части почвы [1].

По мере развития процессов физического выветривания происходит постепенное обогащение верхних слоев субстрата мелкоземистым материалом. Одновременно, в результате поселения растений и развития определенных сообществ, происходит проникновение корневой системы в толщу уплотненного субстрата. Это также ведет к дополнительному разрушению породы и сопровождается закреплением корнями растений мелкоземистой фракции. В результате верхние слои накапливают мелкозем, обогащенный илистыми фракциями, что создают более благоприятный водный режим для развития растений.

Литература

1. Андроханов В. А., Курачев В. М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.

2. Добровольский В. В. Практикум по географии почв. М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. 144 с.

3. Кемеровская область. Новокузнецк : РИО КузГПА, 2012. 243 с.

4. Подурец О. И. Пространственное распределение запасов растительного вещества в техноземах селитебной зоны г. Новокузнецка // Роль почв в биосфере и жизни человека. М/ : МАКС Пресс, 2025. С. 184–186.

5. Подурец О. И. Техногенез и почвообразование в южной лесостепи Кемеровской области // Вестник Кемеровского государственного университета. 2018 № 1 (5) С. 68–73.

6. Трофимов И. Т., Чернецова Н. В. Генезис водопрочных агрегатов и структурное состояние основных типов почв Предалтайской провинции. Барнаул : Изд-во АГАУ, 2004. 148 с.

FEATURES OF STRUCTURE FORMATION IN SOILS OF MAN-MADE LANDSCAPES OF KUZBASS

O. I. Podurets
Kemerovo State University, Novokuznetsk, glebova-podurets@mail.ru

The diversity of anthropogenic disturbances to natural landscapes, their varying scales in both area and depth, necessitates monitoring these formations and studying the dynamics of their evolution. This article examines the structural state of soils in technogenic landscapes–embryozems and technozems–characterized by similar age and physical and geographical conditions of soil formation, but differing in their formation methods. Gravitational differentiation of dispersed products of technogenic disintegration occurs in all types of embryozems and technozems; this process is supplemented by biogenic disintegration and accumulation of fine particles not only due to the fixation of fine earth by the root system of plants, but also organic aggregation, which occurs only within the biogenic horizons, which is estimated by the coefficient of structure and the ratio of the content of the stony fraction and fine earth.

УДК 911.52:631.4

ПОЧВЕННЫЙ БЛОК В СИСТЕМЕ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Ю. М. Семенов

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
yumsemenov@mail.ru

Ландшафтное планирование (ЛП) развивается в Институте географии СО РАН (ИГ СО РАН) с 1994 г., когда в рамках Соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды между РФ и ФРГ был заключен договор о выполнении совместного российско-германского проекта «Экологически ориентированное планирование землепользования в Прибайкалье» между администрацией Иркутской области и Немецким обществом по техническому сотрудничеству.

В 1994–1998 гг. ИГ СО РАН при участии Института географии РАН (г. Москва), администрации Иркутской области, Немецкого общества по техническому сотрудничеству (г. Эшборн) и группы планирования «Экология + окружающая среда» (г. Ганновер) были созданы ландшафтные рамочные планы бассейна р. Голоустной и Ольхонского административного района. Затем сотрудники ИГ СО РАН при активной консультативной поддержке Федерального ведомства охраны природы Германии продолжили развитие методического аппарата, прежде всего за счет широкого применения методов ЛП в различных направлениях охраны природы на территории Прибайкалья. Впервые в России были составлены схема экологического зонирования Байкальской природной территории, ландшафтные рамочные планы Слюдянского и южной части Иркутского районов, дельты р. Селенги и Забайкальского национального парка, крупномасштабные ландшафтные планы пос. Листвянка и г. Байкальска. На основе этих исследований разработаны принципы ЛП, концепция его развития в России и даны методические рекомендации по планированию [4; 5; 12].

Оценка почв в ЛП проводится с целью получения представлений об их состоянии с позиций возможного будущего использования. Критерии, рекомендуемые для такой оценки, должны быть ориентированными на главные цели использования территории в условиях равных приоритетов сохранения экологического равновесия и устойчивого социально-экономического развития, отражать современное состояние природной среды в естественных и антропогенно измененных геосистемах, давать представление о возможных изменениях состояния при реализации основных направлений использования территории и допустимом уровне такого использования. Эти требования воплощаются в категориях «значения» и «чувствительности». Критерии значения дают представление о потенциале почв как природного ресурса, а критерии чувствительности регламентируют возможности их использования в связи с теми или иными негативными свойствами или процессами.

Значимость почв оценивается в зависимости от направления хозяйственного использования: в лесном хозяйстве и в сельском хозяйстве (отдельно – в земледелии или под пастбища и сенокосы). Наряду с почвенными картами для оценки использовались материалы землеустройства (картограммы агропроизводственных групп почв и рекомендации по их использованию) и планы лесоустройства.

Для территорий с естественным растительным покровом в качестве критерия выступает способность к поддержанию естественной биопродуктивности растительных сообществ (для лесных земель – бонитет леса). Для каждого типа леса учитываются запас древесины с корректировкой на возраст и полноту древостоя, связь растительности (коренной или производной) с типами почв и показатели, влияющие на бонитет: полнота развитости почвенного профиля, мощность гумусового горизонта, агрохимические свойства, гранулометрический состав, каменистость, заболоченность, крутизна склона и т. д.

Для земель сельскохозяйственного использования наиболее важный показатель – плодородие почв, оценка которого выполняется с учетом бонитета почв. Оценка пригодности почв к пастбищному или сенокосному использованию базируется на таких параметрах, как теплообеспеченность и влагообеспеченность растительных сообществ. При оценке почв по степени пригодности для земледелия, наряду с обеспеченностью теплом и влагой, используются мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, обеспеченность элементами питания, pH, ЕКО, гранулометрический состав, уклоны местности, площадь контура и т. д. [5].

Чувствительность – способность данного природного компонента изменять свои свойства и динамические характеристики под воздействием хозяйственной деятельности человека. Чувствительность почв определяется обычно по отношению к потенциальной возможности развития водной и ветровой эрозии под воздействием антропогенных нагрузок с использованием материалов землеустройства (картограммы эрозии почв, картограммы категорий эродированности земель): для обрабатываемых почв – нарушения агротехнических приемов обработки почвы или неправильного выбора агротехники, для несельскохозяйственных и лесных земель – чрезмерной рекреации, лесных пожаров, сведения леса, перевыпаса и т. д. Основной критерий чувствительности – степень выраженности современных экзогенных почворазрушающих процессов.

Высокая степень чувствительности устанавливается, когда экзогенные процессы полностью способны разрушить естественную структуру почв или уничтожить их совсем (полное разрушение почв возможно при активном развитии оползневых, обвальных, эоловых, склоновых водно-эрозионных и других процессов); средняя – когда под воздействием экзогенных процессов могут происходить частичные изменения их структуры и элементов; низкая – при сохранении почвами своей естественной структуры и функционирования, плодородия и прочих свойств [5]. Важную роль в оценке играют показатели миграционной способности химических элементов, индицирующие чувствительность почв к внешним воздействиям, при этом выбор конкретных индикативных по-

казателей (элементов или их ассоциаций) зависит от региональной специфики миграционных процессов в почвах [8].

Следующий этап ЛП – определение отраслевых целей развития – проводится на основе материалов оценочного этапа путем сопоставления карт значимости и чувствительности почв. В рамках целевых концепций использования почв выделяются 3 типа целей: сохранение, развитие и улучшение.

Обычно для высокозначимых высокочувствительных почв рекомендуется сохранение их современного состояния с полным отказом от использования или отказом от отдельных видов использования, для средне- и низкозначимых высокочувствительных – сохранение существующего экстенсивного использования, для частично нарушенных высоко- и среднезначимых средне- и низкочувствительных – экстенсивное развитие с локальным сохранением и оздоровлением нарушенных почв, для высоко- и среднезначимых низкочувствительных – экстенсивное развитие, для высокозначимых среднечувствительных – регламентированное интенсивное развитие, для нарушенных высокозначимых средне- и низкочувствительных – улучшение с последующим переводом в категорию регламентированного интенсивного развития, для нарушенных среднезначимых средне- и низкочувствительных – улучшение с последующим переводом в категорию экстенсивного развития, для нарушенных средне- и низкозначимых высокочувствительных – улучшение с последующим переводом в категорию регламентированного экстенсивного использования [5; 6].

Карты зонирования территории ЛП в соответствии с выделенными целями согласовывались с законодательно утвержденными схемами природо- и водоохранного зонирования и уточнялись по материалам землеустройства (карты мероприятий по использованию и улучшению сенокосов, пастбищ, земель мелиоративного фонда) и натурного обследования [5].

На базе опыта разработки в Институте географии СО РАН ландшафтных планов разных уровней были созданы предпосылки для широкого внедрения инструментов ЛП как основы обеспечения экологической политики природопользования в регионах Сибири. Накопленный на Байкальской природной территории опыт использован для решения задач планирования землепользования в других регионах РФ (Ярославская область, Республика Алтай) и странах ближнего зарубежья (Азербайджан, Армения, Грузия, Казахстан, Украина), причем он постоянно обогащался в результате сотрудничества с новыми коллегами с учетом изменения и расширения территорий применения ЛП.

Наряду с ЛП сотрудниками ИГ СО РАН значительное внимание уделялось также разработке методик использования его инструментов в решении конкретных задач природопользования: землеустройства, водоохранного зонирования, градостроительного проектирования и оценки воздействия создаваемых хозяйственных объектов на окружающую среду (ОВОС). Естественно, большая роль при этом отводилась учету свойств и показателей почв как важнейшего компонента геосистем и средства производства.

Так, оценка значимости почв при водоохранном зонировании побережья оз. Байкал базировалась на результатах исследования их водоохранных функ-

ций, в первую очередь водорегулирующей и сорбционной способности [1; 7; 11]. Под водорегулирующей способностью понималась роль почв в формировании речного стока и трансформации поверхностных вод в грунтовые, а под сорбционной – в обеспечении защиты грунтовых и речных вод от техногенного загрязнения: чем выше уровень потенциальной водопроницаемости и сорбционной емкости, тем выше водоохранная значимость почв. Низкой водоохранной значимостью характеризуются почвы с очень низкой водопроницаемостью или сорбционной емкостью, т. е. низкой степенью устойчивости [7].

При разработке ОВОС для объектов по добыче и транспорту углеводородов прогнозирование изменения состояния почв и почвенного покрова проводится в соответствии с возможными воздействиями техногенных факторов на почвы и их последствиями, после чего оценивается степень устойчивости конкретных почв землеотвода к техногенному воздействию. Заключительное звено этого этапа – интегральная оценка степени риска нарушения комбинаций почвенного покрова в процессе строительства и эксплуатации обустройства площадок с помощью приемов ЛП. По трехбалльной шкале оценивается значимость тех или иных комбинаций почвенного покрова с позиций их пригодности к использованию в земледелии и лесном хозяйстве, чувствительность почв к техногенному воздействию (к разрушению дернины, к химическому загрязнению и общая, рассчитанная как средняя арифметическая величина из двух предыдущих оценок) и сама степень экологического риска, рассчитываемая путем суммирования оценок значимости и чувствительности [9; 10].

Таким образом, хотя методический аппарат использования знаний о почвах в системе ЛП постоянно изменяется и обогащается новыми методами, его основные процедуры (инвентаризация, оценка почв с позиций их значимости, чувствительности и определение целей развития) остаются обязательными и сквозными во всех направлениях планирования.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания № 126020516556-1.

Литература

1. Антипов А. Н., Гагаринова О. В., Федоров В. Н. Ландшафтная гидрология: теория, методы, реализация // География и природные ресурсы. 2007. № 3. С. 56–66.

2. Антипов А. Н., Кравченко В. В., Семенов Ю. М. Ландшафтное планирование в Прибайкалье // География и природные ресурсы. 1997. № 4. С. 6–21.

3. Антипов А. Н., Семенов Ю. М. Ландшафтное планирование как инструмент управления природопользованием (на примере Байкальского региона) // Известия РАН. Сер. географическая. 2006. № 5. С. 82–91.

4. Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт / А. Н. Антипов, А. В. Дроздов, В. В. Кравченко [и др.]. Бонн; М. ; Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2002. 141 с.

5. Руководство по ландшафтному планированию. Т. 2. Методические рекомендации по ландшафтному планированию / А. Н. Антипов, А. В. Дроздов, Т. Ф. Князева [и др.]. М. : Гос. центр экол. программ, 2001. 73 с.

6. Семенов Ю. М., Семенова Л. Н. Оценка и определение целевых функций почв в ландшафтном планировании // Александр фон Гумбольдт и проблемы устойчивого развития Урало-Сибирского региона. Тюмень, 2004. С. 240–242.

7. Семенов Ю. М., Федоров В. Н., Данько Л. В. Водоохранные функции почв побережья озера Байкал // Функции почв в биосферно-геосферных системах. М. : МАКС пресс, 2001. С. 120–121.

8. Семенова Л. Н., Семенов Ю. М. Миграционная способность тяжелых металлов в почвах как индикатор чувствительности геосистем // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 26–33.

9. Семенова Л. Н., Семенов Ю. М. Опыт оценки почв при разработке ОВОС для объектов нефтегазового комплекса в Восточной Сибири // Просторовий аналіз природних і техногенних ризиків в Україні. Київ : Друк. ИГ НАН України, 2009. С. 64–68.

10. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Ковыктинское газоконденсатное месторождение / А. Н. Антипов, С. А. Макаров, Ю. М. Семенов [и др.]. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2004. 159 с.

11. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Территориальное развитие г. Байкальска и его пригородной зоны / Е. Г. Суворов, А. Н. Антипов, Ю. М. Семенов [и др.]. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2003. 192 с.

12. Landscape planning: Tools and experience in implementation / A. N. Antipov, V. V. Kravchenko, Yu. M. Semenov [et al.]. Bonn ; Irkutsk : V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2006. 149 p.

SOIL BLOCK IN LANDSCAPE PLANNING SYSTEM

Yu. M. Semenov
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, yumsemenov@mail.ru

Assessment of soils in landscape planning is carried out in order to obtain ideas about their condition from the standpoint of possible future use. The criteria recommended for such an assessment should be focused on the main goals of using the territory in conditions of equal priorities for maintaining ecological balance and sustainable socio-economic development, reflect the current state of the natural environment in natural and anthropogenically modified geosystems, give an idea of possible changes in the state when implementing the main areas of use of the territory and the permissible level of such use. These requirements are embodied in the "values" and "sensitivity" categories. Value criteria give an idea of the potential of soils as a natural resource, and sensitivity criteria regulate the possibility of their use in connection with certain negative properties or processes. On the basis of the materials of the evaluation stage, industry development goals are determined by comparing maps of the significance and sensitivity of soils. Within the framework of targeted concepts of soil use, 3 types of goals are distinguished: preservation (existing extensive use, modern state with a complete rejection of use or rejection of certain types of use), development (intensive, extensive with local preservation and improvement of disturbed landscapes, extensive) and improvement (with subsequent transfer to the category of regulated intensive or extensive development, regulated extensive use). Based on the experience of developing landscape plans at various levels at the Institute of Geography of the SB RAS, prerequisites were created for the widespread introduction of landscape planning tools as the basis for ensuring the environmental policy of nature management. The experience gained in the Baikal natural territory was used to solve land use planning problems in other regions. The methodological apparatus for using soil knowledge in the landscape planning system is constantly changing and enriched with new methods, but its basic procedures (inventory, assessment of significance, sensitivity and determination of development goals) remain mandatory and cross-cutting in all areas of planning.

УДК 631.4:552.4:632.153

ПОЧВЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ КАК ДЕПОНЕНТЫ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД

Ю. М. Семенов[1], М. Ю. Семенов[2], А. В. Силаев[1]

[1]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
yumsemenov@mail.ru, anton_s@bk.ru
[2]Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, smu@mail.ru

Первичными источниками загрязнения поверхностных вод обычно служат выбросы и стоки различных промышленных, коммунально-бытовых объектов, вынос с сельскохозяйственных угодий и пр., однако до попадения в водный объект загрязнители с поверхностным и грунтовым стоком проходят путь, на котором неоднократно рассеиваются и концентрируются. Почвы трансэлювиально-аккумулятивных, аккумулятивных и трансаккумулятивных местоположений, куда в основном сносятся воды, растворенное и взвешенное в них вещество, часто становятся депонентами поллютантов, а затем и вторичными, т. е. фактическими, источниками поступления загрязнителей в водные объекты и почвы в результате дождей или снеготаяния.

В отечественных почвенных, гидрологических и ландшафтно-геохимических публикациях сведения об исследовании подобных вторичных аккумулятивных ландшафтов, их роли в депонировании загрязнителей и последующем загрязнении поверхностных вод и почв встречаются весьма редко, причем практически без достаточно серьезных обоснований или выводов. Вместе с тем теоретические основы и предпосылки для этого в российском естествознании имеются. Если исходить из ландшафтно-геохимических представлений, данные объекты, накапливающие вещество из поверхностного и грунтового стока, являются механическими геохимическими барьерами [2; 3], а с позиций гидрологии – участками формирования стока [1; 6].

В зарубежных же публикациях такие местоположения обычно называют гидрологически чувствительными территориями (hydrologically sensitive areas – HSA) [7; 19]. При наличии на этих HSA отходов промышленных, коммунальных или аграрных объектов они вполне могут стать источниками загрязнения поверхностных вод – критическими территориями-источниками (critical source areas – CSA) [13; 16].

Противодействовать развитию таких негативных процессов можно с помощью мелиоративных мероприятий по уменьшению загрязненного стока, рекультивации или консервации мест депонирования загрязнителей, для чего требуется соответствующее научное обоснование. С этой целью нами была предпринята попытка разработки методики исследования роли аккумулятивных ландшафтов в депонировании загрязнителей для 3 масштабных уровней: бассейнов оз. Байкал в целом и его главного притока р. Селенги, а также территории г. Улан-Удэ.

План реализации проекта включал создание цифровой модели рельефа (ЦМР) бассейна оз. Байкал, выявление с ее помощью гидрологически чувствительных ландшафтов, а также установление территорий, являющихся источниками загрязнения поверхностных вод, с использованием проверки уровней содержания загрязнителей в почвах и водах HSA [17]. В ходе реализации проекта применялись методы геоинформационного моделирования и выявления источников загрязнения путем виртуального разделения смеси загрязнителей на компоненты [4; 10].

Для установления возможностей формирования и определения конкретных местоположений HSA был рассчитан топографический индекс влажности TWI [9; 12]. Карта величин TWI отражает пространственное распределение влажности почв и их способности к формированию поверхностного стока при выпадении атмосферных осадков, т. е. по смыслу она близка к карте HSA. Полученные для исследуемой территории величины TWI находились в диапазоне от 4 до 30: наибольшие соответствовали руслам рек и временных водотоков, наименьшие – верхним частям склонов и поверхностям водоразделов.

Поскольку ни русла рек, ни водоразделы в формировании поверхностного стока не участвуют, необходимо было определить диапазоны величин TWI, характерные для HSA как участков бассейна, в которых после выпадения атмосферных осадков при насыщении почвы водой до полной влагоемкости формируется сток, главным образом, поверхностный. Это возможно в 2 случаях: 1) количество осадков превышает величину влагоемкости почвы, причина низкой влагоемкости – малая мощность профиля почв верхних частей склонов (TWI = 12–15); 2) почва уже насыщена влагой, и ее остаточная емкость по отношению к воде невелика – в долинах рек, где зеркало грунтовых вод близко к поверхности (TWI = 15–18) [5].

Уточнение этих данных, отработка приемов картирования первичных источников загрязнения и HSA потребовали детальных исследований на небольшой модельной территории Улан-Удэнской агломерации, для которой также составлялись ЦМР и карта величин TWI. Так как некоторые участки территории, характеризующиеся высокими величинами TWI, могли являться бессточными понижениями, для проверки наличия стока воды с этих участков в реки и оценки возможности их влияния на формирование состава речного стока на основе ЦМР была создана карта суммарного стока (flow accumulation – FA) с использованием модели Flow Accumulation [14].

Для выявления участков FA и расчета TWI за основу были взяты находящиеся в свободном доступе данные глобальной цифровой модели поверхности (DSM) ALOS World 3D – 30m (AW3D30) [8]. ЦМР была переведена в проекцию WGS84 UTM Zone 48N [15] после предварительной обработки инструментами Simple Filter и Fill Sinks [11] в программе SAGA GIS с целью фильтрации некорректных значений высот. Далее с использованием откорректированной модели рельефа были рассчитаны величины TWI [9; 12].

Выявление HSA производилось путем взаимного наложения карт пространственного распределения величин TWI и участков максимального FA. В

качестве истинных HSA были идентифицированы те участки предварительно установленных HSA, контуры которых располагаются в пределах участков поверхности с максимальным FA, т. е. находятся на пути наиболее интенсивных временных водных потоков. Проведенная в ходе выполнения дальнейших полевых работ проверка правильности идентификации HSA подтвердила ее корректность во всех случаях [5].

Условием формирования критических территорий-источников (CSA) является совпадение зоны действия источника загрязнения с HSA [13; 16], поэтому для выделения CSA была составлена карта производственных объектов (РПО). Она отражает расположение промышленных зон, территорий промышленных и коммунально-бытовых предприятий. При ее создании использовались топографические карты, общедоступные данные с государственных порталов и синтезированные космические снимки Sentinel-2. Карта РПО была наложена на карту пространственного распределения HSA, и фрагменты HSA в границах РПО были идентифицированы как CSA. Корректность их выделения была подтверждена результатами оценки уровня загрязнения почв г. Улан-Удэ. Хотя уровни загрязнения почв разных CSA сильно различались по причине разных режимов работы и разной мощности предприятий, средний уровень загрязнения почв внутри всех CSA был в 2–3 раза выше, чем за пределами CSA, и в 5–10 раз, чем за пределами города [17].

В последующих работах по идентификации и картографированию HSA и CSA был предложен новый количественный параметр ландшафтов – показатель (индекс) гидрологической чувствительности (HSI – hydrological sensitivity index), представляющий собой отношение величин FA и TWI, т. е. HSI = FA/TWI. Анализ карт величин HSI позволил выйти на типизацию аккумулятивных ландшафтов в соответствии с величиной HSI. Для бассейна р. Селенги установлены диапазоны HSI, соответствующие гидроаккумулятивным (< 13 000), супераквальным (13 000–30 000) и транзитным (30 000–70 000) местоположениям. Более высокие значения HSI характерны для русел рек, элювиальных и трансэлювиальных местоположений.

По данным о характеристиках стока на 44 створах в реках бассейна выделены соответствующие этим створам подбассейны, рассчитаны и закартированы значения модуля стока. Использование долгосрочных данных о концентрациях соединений азота (сумма ионов аммония, нитратов и нитритов) и фосфора (фосфатов) позволило оценить их пространственное распределение, экспорт из различных частей бассейна Селенги и выявить подбассейны с максимальными годовыми значениями экспорта стока соединений азота и фосфора. Для модельных участков на территориях с максимумом экспорта элементов питания растений предложено создание буферных зон вокруг вторичных источников загрязнения, составлена карта их размещения [18].

Таким образом, теоретически и экспериментально установлено, что почвы гидрологически чувствительных ландшафтов в определенных условиях могут служить депонентами привнесенных загрязнителей и потенциальными источниками дальнейшего загрязнения вод и почв. Результаты наших исследований

показали возможность идентификации и оценки закономерностей пространственного расположения участков временной аккумуляции поллютантов с целью не только воспрепятствовать попаданию накопленных там примесей в почвы и водные объекты, но и выявить их первичные источники [5; 17].

Исследование выполнено за счет средств государственных заданий № 126020516556–1 и № 121032300199-9.

Литература

1. Виноградов Ю. Б., Виноградова Т. А. Современные проблемы гидрологии. М. : Академия, 2008. 322 с.

2. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М. : Высш. шк., 1988. 328 с.

3. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М. : Высш. шк., 1975. 331 с.

4. Семенов М. Ю., Снытко В. А. Оптимизация подходов к моделированию химического состава речных вод // Доклады Академии наук. 2013. Т. 453, № 6. С. 686–689.

5. Семенов Ю. М., Семенов М. Ю., Силаев А. В. Идентификация гидрологически чувствительных ландшафтов (на примере бассейна реки Селенги) // География и природные ресурсы. 2024. Т. 45, № 1. С. 91–99.

6. Федоров В. Н. Ландшафтная индикация речного стока. Иркутск ; М. : Изд-во ИГ СО РАН, 2007. 175 с.

7. Agnew L. J., Lyon S. et al. Identifying hydrologically sensitive areas: bridging science and application // Journal of Environmental Management. 2006. Vol. 78. P. 64–76.

8. ALOS Global Digital Surface Model ALOS World 3D – 30 m (AW3D30). Dataset. Product Format Description. Version 1.1. URL: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm (дата обращения: 14.05.2026).

9. Beven K. J., Kirkby M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology // Hydrological Science Bulletin. 1979. Vol. 24, N 1. P. 43–69.

10. Modelling streamwater chemistry as a mixture of soil water end-members – a step towards second-generation acidification models / N. Christophersen [et al.] // Journal of Hydrology. 1990. Vol. 116. P. 307–320.

11. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v.2.1.4. Geoscience Model Development, 8 / O. Conrad [et al.]. URL: https://www.geosci-model-dev.net/8/1991/2015/ (дата обращения: 14.05.2026).

12. Gallant J. C., Hutchinson M. F. A Differential Equation for Specific Catchment Area // Water Resources Research. 2011. Vol. 47, N 5. P. 28–33.

13. Heathwaite L., Quinn P. F., Hewett C. Modelling and managing critical source areas of diffuse pollution from agricultural land using flow connectivity simulation // Journal of Hydrology. 2005. Vol. 304, N 1–4. P. 446–461.

14. How to compute flow direction and flow accumulation with QGIS? URL: https://gis.stackexchange.com/questions/68158/how-to-compute-flow-direction-and-flow-accumulation-with-qgis (дата обращения: 14.05.2026).

15. Planchon O., Darboux F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models // Catena. 2002. Vol. 46, N 2–3. P. 159–176.

16. Identifying critical source areas using multiple methods for effective diffuse pollution mitigation / S. M. Reaney [et al.] // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 250. Art. 109366.

17. Identifying and characterizing critical source areas of organic and inorganic pollutants in urban agglomeration in Lake Baikal watershed / M. Y. Semenov [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14, N 22. Art. 14827.

18. Revealing the Sources of Nutrients in the Surface Waters of the Selenga River Watershed Using Hydrochemical and Geospatial Data / M. Y. Semenov [et al.] // Water. 2024. Vol. 16, N 5. Art. 630.

19. Hydrologically sensitive areas: variable source area hydrology implications for water quality risk assessment / M. T. Walter [et al.] // Journal of Soil and Water Conservation. 2000. Vol. 55, N 3. P. 277–284.

SOILS OF HYDROLOGICALLY SENSITIVE LANDSCAPES AS DEPONENTS OF POLLUTANTS AND POTENTIAL SOURCES OF WATER POLLUTION

Yu. M. Semenov[1], M. Yu. Semenov[2], A. V. Silaev[1]
[1]V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk
yumsemenov@mail.ru, anton_s@bk.ru
[2]Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, smu@mail.ru

Possibility of identification and evaluation of regularities of spatial arrangement of areas of temporary accumulation of pollutants introduced with surface and ground runoff from primary sources of pollution is shown. Soils of transeluvial-accumulating, accumulating and transaccumulating places, where water, dissolved and suspended substances are transported, become deposits of pollutants. As a result of moisture oversaturation after heavy rains or snowmelt, pollutants can migrate further into water bodies and soils. To identify accumulative landscapes, the values of the topographic humidity index (TWI) were calculated and ranked, areas with the most likely runoff zones were identified, and a total runoff map (FA) was created to assess their impact on the formation and composition of river runoff. Hydrologically sensitive catchment areas (HSA) were identified by superimposing a map of maximum FA on a map of TWI, and their sites within areas with maximum FA were identified as true HSA. In the course of field studies, the boundaries of the identified TSA were clarified and the expected areal sources of surface water pollution were determined. Identification of critical source areas (CSA) was done by matching the contours of the HSA map to the contours of the industrial area map. Fragments of HSA within the boundaries of industrial zones were identified as CSA. A new quantitative parameter of landscapes is proposed – the hydrological sensitivity index (HSI = FA/TWI). The Selenga River basin has HSI ranges corresponding to pumped storage (<13000), superquality (13000–30000) and transit (30000–70000) locations. The spatial distribution of N and P compounds in surface waters was estimated, their export from various parts of the Selenga basin was calculated. For model sites in territories with a maximum export of plant nutrition elements, the creation of buffer zones around secondary sources of pollution was proposed, a map of their location was compiled.

УДК 631.436

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ДВУХСЛОЙНОЙ ПОЧВЕННОЙ СИСТЕМЕ

Е. В. Шеин[1], Р. Ф. Микаил[2], Ф. Д. Микаилсой[3]

[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
[2]Кафедра математики, Ыгдырский университет, Ыгдыр, Турция
[3]Кафедра почвоведения, Ыгдырский университет
Игдыр, Турция, farizmikayilov@gmail.com

Введение

Управление тепловым режимом почв является важнейшим условием интенсивного сельскохозяйственного производства в условиях открытого и закрытого грунта. Современное управление основывается на прогнозных поливариантных расчетах теплового режима и выборе оптимального варианта воздействия на почвенный покров для улучшения теплового режима. В основе такого рода расчетов лежит использование математических моделей переноса тепла в почве [7].

Влияние тепло- и массопереноса оказывает заметное влияние на развитие сельскохозяйственных культур, работу сельскохозяйственной техники, технологические процессы переработки и хранения продукции. В настоящее время к числу актуальных, неразрешенных задач относятся сложные вопросы, характеризующиеся многомерностью, нелинейностью и взаимо связанностью переноса тепла и массы [5].

В практике очень часто возникают задачи теплопереноса связанные с слоистимы средами (о промерзании почвы, распространение гармонических колебаний в системе двух контактирующих тел, теплопроводности для многослойных конструкций, теплового воздействия очага возгорания на слой почвы и др.) [1; 2; 4; 6; 9; 10].

Очевидно [3], что некоторые возможности метода решение задач теплопереноса для многослойных области еще остаются не раскрытыми. Например, анализ высших гармоник периодического сигнала на поверхности почвы позволит получить информацию о качестве теплового контакта, а следовательно, о точности оценки тепловой режима в конкретном эксперименте. Не исследованы также решения обратных задач для многослойных области. Дальнейшее развитие метода потребует разработки выщеперечисленных проблем

Целью данного исследования является решения прямой задачи теплоперноса в двухслойной толще почвы с разными теплофизическими характеристиками при известных послойных свойств почв на основании заранее определенных экспериментальных данных.

В настоящей работе представлена аналитическая методика расчета теплопроводности слоистой почвенной толщи.

1. Физическая постановка задачи

Слой почвы рассматривается как двухслойная среда (система: $\mathbf{\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2}$), в которой могут быть выделены верхний и нижний горизонт, составленное

из двух областей – верхного слоя $\mathbf{\Omega_1} = (0 < z < h)$ мощности $\boldsymbol{h}$ и нижнего слоя $\mathbf{\Omega_2} = (h < \boldsymbol{z} < \infty)$ почвы.

Полагается, что передача тепла в системе $\mathbf{\Omega}$ осуществляется только за счет механизма теплопроводности. Рассматривается модельная почва без привязки к конкретному типу почв.

Область решения представлена на рисунке.

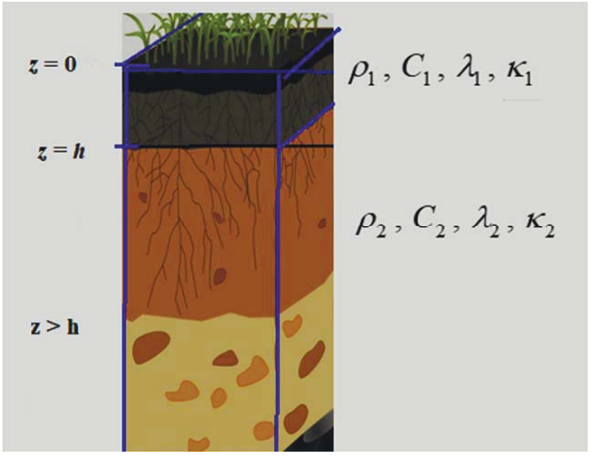


Рис. Схема двухслойной области почвы

2. Математическая постановка и решение прямой задачи теплопроводности в двухслойной почвенной среде

Постановка и решение различных задач теплопереноса в слоистых средах, в том числе и в почвенной среде, подробно описаны в работах [1–6; 9–10].

Приведем решения линейной одномерной задачи теплопереноса для двухслойной почвенной области.

Рассмотрим уравнение нестационарной теплопроводности для двухслойной почвенной среде ($\mathbf{\Omega = \Omega\ U\ \Omega}$), составленное из двух областей – верхного $\Omega_1 = (0 \le z \le h)$ и нижнего слоя $\Omega_2 = (h < z < \infty)$ почвы (ось $\boldsymbol{z}$ направлена вертикально вниз).

При этом счиатем,что тепловые свойства (плотность ρ_i, объемная теплоемкость C_i, теплопроводность λ_i и температуропроводность $\boldsymbol{\kappa}_i$, $i = 1,2$) почвенных слоях различны.

Пусть на повекрхности верхного почвенном слоя, т. е. при $\boldsymbol{z} = 0$ задано изменение температуры по синусоидальному закону от временем $\boldsymbol{t}$, что моделирует суточные или сезонные колебания температуры.

Известно, что влияние начального условия не сказывается на распределения температуры почвы в момент наблюдения. Особенно, при периодической постановке задачи начальное условие отсутствует (так

называемые "*задачи без начального условия*") [7; 8; 11]. Поэтому, задачу рас¬сматриваем без начальных условий $0<t<\infty$.

Математическая модель нестационарного теплопереноса для двухслойной (области) толщи почвы может быть записана в виде прямой краевой задачи теплопроводности без начальных условий следующей системой одномерных нестационарных уравнений теплопроводности в следующем виде:

Для верхнего слоя почвы:

$$C_1\rho_1\frac{\partial T_1(z,t)}{\partial t}=\lambda_1\frac{\partial^2 T_1(z,t)}{\partial z^2},\ 0<z<h,\ 0<t<\infty \tag{1}$$

и для нижнего слоя почвы :

$$C_2\rho_2\frac{\partial T_2(z,t)}{\partial t}=\lambda_2\frac{\partial^2 T_2(z,t)}{\partial z^2},\ 0<z<h,\ 0<t<\infty \tag{2}$$

граничная условя на поверхности почвы

$$T_1(0,t)=T_0+T_a\cos(\omega t+\varepsilon),\ 0<t<\infty\ . \tag{3}$$

Условия сопряжения т. е непрерывности температур и потоков на границе между слоями, т. е. $z = h$ являются выражения

$$T_1(z=h,t)=T_2(z=h,t),\ 0<t<\infty \tag{4}$$

$$\lambda_1\frac{\partial T_1(h,t)}{\partial z}=\lambda_2\frac{\partial T_2(h,t)}{\partial z},\ 0<t<\infty \tag{5}$$

нижняя граничная условя расчетной области

$$\lim_{z\to\infty}\frac{\partial T_2(z,t)}{\partial z}=0,\ \ 0<t<\infty\ , \tag{6}$$

где $T_1(z,t)$ и $T_2(z,t)$ – соответственно температуры (°С) в точках с координатой z (м) в момент времени $t(c)$; ρ_1, ρ_2, c_1, c_2, C_1, C_2, λ_1, λ_2 и κ_1, κ_2 – соответсвенно плотность (кг/м³), теплоемкость Дж/(кг·°С), – объемная теплоемкость, Дж/(м³·°С), теплопроводности (Вт/м· °С) и температуропроводность, (м²/с) в первой- верхней ($0<z<h$) и второй-нижней ($h<z<\infty$) слоях почвы

Следуя работам [7; 8], можно показать, что решения система уравнений (1)-(2) при краевых условиях (3) и (6) имеет вид

$$T_1(z,t)=T_0+\frac{T_a}{\Delta(b_1,h)}\cdot\left[P_{11}(z)\cos(\omega t+\varepsilon)+P_{12}(z)\sin(\omega t+\varepsilon)\right],(0<z<h), \tag{7}$$

где функции $P_{11}(z)$, $P_{12}(z)$ – соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned}P_{11}(b_1,z)&=\Phi_1(b_1,h,z)\Phi_1(b_1,h,0)+\Gamma_1(b_1,h,z)\Gamma_1(b_1,h,0)\\P_{12}(b_1,z)&=\Phi_1(b_1,h,z)\Gamma_1(b_1,h,0)-\Phi_1(b_1,h,0)\Gamma_1(b_1,h,z)\\\Delta(b_1,h)&=\Phi_1^2(b_1,h,0)+\Gamma_1^2(b_1,h,0)\end{aligned} \tag{8}$$

а функции $\Phi_1(b_1,h,z),\Phi_1(b_1,h,0),\Gamma_1(b_1,h,z),\ \Gamma_1(b_1,h,0)$ выражены через (9).

$$\begin{aligned}&\Phi_1(b_1,h,z)=\mathbf{ch}^2\left[b_1(h-z)\right]+\frac{E}{2}\mathbf{sh}\left[2b_1(h-z)\right],\Phi_1(b_1,h,0)=\mathbf{ch}^2(b_1h)+\frac{E}{2}\mathbf{sh}(2b_1h)\\&\Gamma_1(b_1,h,z)=\mathbf{sh}^2\left[b_1(h-z)\right]+\frac{E}{2}\mathbf{sh}\left[2b_1(h-z)\right],\ \Gamma_1(b_1,h,0)=\mathbf{sh}^2(b_1h)+\frac{E}{2}\mathbf{sh}(2b_1h)\end{aligned} \tag{9}$$

Аналогично, и для $T_2(z,t),(h<z<\infty)$ окончательно имеем

$$T_2(z,t) = T_0 + \frac{T_a}{\Delta(b_1,h)} \cdot \left[P_{21}(z)\cos(\omega t + \varepsilon) + P_{22}(z)\sin(\omega t + \varepsilon) \right], (h < z < \infty), \quad (10)$$

где функции $P_{21}(b_1,b_2,z)$ и $P_{22}(b_1,b_2,z)$ соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned} P_{21}(b_1,b_2,z) &= \Phi_2(b_2,h,z)\Phi_1(b_1,h,0) + \Gamma_2(b_2,h,z)\Gamma_1(b_1,h,0) \\ P_{22}(b_1,b_2,z) &= \Phi_2(b_2,h,z)\Gamma_1(b_1,h,0) - \Gamma_2(b_2,h,z)\Phi_1(b_1,h,0) \end{aligned} \quad (11)$$

а функции $\Phi_2(b_2,h,z)$, $\Gamma_2(b_2,h,z)$ выражены через (12).

$$\begin{aligned} \Phi_2(b_2,h,z) &= \mathbf{ch}^2\left[b_2(h-z)\right] + \frac{1}{2}\cdot\mathbf{sh}\left[2b_2(h-z)\right], \\ \Gamma_2(b_2,h,z) &= \mathbf{sh}^2\left[b_2(h-z)\right] + \frac{1}{2}\cdot\mathbf{sh}\left[2b_2(h-z)\right] \end{aligned} \quad (12)$$

Можно показать, что решения (7) с (8)–(9) и (10) с (11)–(12) удовлетворяет уравнение (1) и (2) и граничных условий (3)–(6).

В работах [3; 4; 6; 10] при более простых граничных условиях («слабо» отражающие почвенные среды) приведены достаточно сложные формулы для решения задачи теплопереноса в двухслойных средах

Выводы

На основе исследовании модели переноса тепла в почве при учете динамики граничных условий на поверхности, описываемых одной гармониками получены аналитические решения при условии второго граничного условии на бесконечности.

Приведенная методика расчета нестационарного процесса позволяет определить температурное поле исследуемого двухслойного области с различными теплофизическими параметрами (плотностью ρ, теплоемкостью С, теплопроводностью λ), помогает детально разобраться в причинах формирования искомого температурного поля, может быть основой для прогноза термического режима почвенных слоях .

В будущем возможно использование более подробных математических моделей по оценке температурных многослойных профилей в почве по вертикальной координате.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература

1. Антонов А. О., Майникова Н. Ф. Метод неразрушающего контроля теплофизических свойств двухслойных теплоизоляционных материалов с металлическим покрытием // Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ : сб. тр. Второй междунар. науч.-техн. конф., 28–30 нояб. 2012 г., Санкт-Петербург. СПб., 2012. С. 229–238.

2. Барановский Н. В., Тойчуев Р. М., Олалейе О. А. Математическое моделирование теплопереноса в слое почвы при воздействии очага лесного пожара // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 317. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=9964

3. Демежко Д. Ю. Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала). Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2001. 144 с.

4. El-Adawi M. K., Abdel-Naby M. A., Shalaby S. A. Laser heating of a two-layer system with constant surface absorption: an exact solution // Int. J. Heat Mass Transfer. 1995. Vol. 38, N 5. P. 947–952, DOI: 10.1016/0017–9310(94)00162–0

5. Золотовская Е. В. Теоретическое исследование температурного поля в почвенном образце сложной формы // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2013. № 1. С. 61–63.

6. Кравчук Е. М. Определение тепловых коэффициентов сыпучих и твердых материалов по методу плоских тепловых волн // ИФЖ.1958. № 10. С. 832–837.

7. Микайылов Ф. Д., Шеин Е. В. Теоретические основы экспериментальных методов определения температуропроводности почв // Почвоведение. 2010. № 5. С. 597–605. https://doi.org/10.1134/S1064229310050091

8. Определение теплофизических параметров почвы по динамическим данным о ее температуре / Р. Ф. Микаил, Е. А. Хазар, Е. В. Шеин, Ф. Д. Микаилсой // Почвоведение. 2024. № 2. С. 237–249. https://doi.org/10.1134/S1064229323700278

9. Чистяков В. И. Импульсный метод определения коэффициента теплопроводности покрытий // Теплофизика высоких температур. 1973. Т. 11, № 4. С. 832–837. https://www.mathnet.ru/eng/tvt9900

10. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М. : Физматгиз, 1962. С. 186–188.

11. Шеин Е. В., Карпачевский Л. О. Курс физики почв. М. : Гриф и К, 2007. 616 с.

MATHEMATICAL MODELING OF UNSTEADY HEAT TRANSFER IN A TWO-LAYER SOIL REGION

E. V. Shein[1], R. F. Mikail[2], F. D. Mikailsoy[3]
[1]Department of Mathematics, Igdir University, Igdır, Türkiye
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow
[3]Department of Soil Science, Igdir University, Igdır, Türkiye
farizmikayilov@gmail.com

This paper examines the problem of heat transfer in a semi-bounded two-layer (near-surface and subsurface) soil domain in a general sense. Based on the solution of boundary conditions for a linear one-dimensional heat transfer model in a semi-bounded two-layer soil domain, with the soil surface temperature being an arbitrary periodic function of time, analytical solutions describing temperature changes for each layer were obtained using the temperature wave method.

СЕКЦИЯ 3

ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ «ПЛОДОРОДИЕ, ДЕГРАДАЦИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ, КАЧЕСТВЕННАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ»

UDC 631.4

CAUSES OF SOIL EROSION AND MEASURES TO COMBAT IT IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE LANKARAN REGION

U. Z. Akbarova

Research Institute of Crop Production, Lankaran Support Station
ulkarcoqrafiya@mail.ru

As a result of erosion, the fertile topsoil is washed away, nutrient content decreases, and agricultural productivity declines. This leads to both economic and ecological problems. Therefore, studying the causes of erosion and developing measures to combat it is of great importance.

In the southeastern part of the Lankaran region, including the Lankaran district, natural-historical factors such as relief, climate, geological-geomorphological structure, chemical composition of parent rocks, soil and vegetation cover, as well as the intensity of anthropogenic pressure, strongly influence the formation and development of erosion processes.

Out of the total land fund of the Lankaran district (153.941 thousand ha), 50.4 thousand ha (32.8 %) have been affected by erosion to varying degrees. Approximately 7.2 % (11.1 thousand ha) of the soils are severely eroded, 7.7 % (11.8 thousand ha) moderately eroded, and 17.9 % (27.5 thousand ha) slightly eroded. Non-eroded lands account for 67.2 % (103. 5 thousand ha) of the total land fund [4].

The main causes of erosion and its expansion are not only natural factors such as slope shape, exposure, and gradient, but also increased human impact in recent years. The main reasons for severe erosion include deforestation on slopes, conversion of forest lands into pastures and croplands, and plowing without applying anti-erosion agrotechnical measures. Irregular and excessive grazing also contributes to the formation of rills, soil degradation, and the occurrence of destructive floods.

The Lankaran region is characterized by erosion and dissected relief in the middle mountain, low mountain, and southern foothill zones, especially with steep slopes. In many areas, particularly on southern slopes above 1200 m, forests have been irregularly cut, leading to intensified and widespread erosion.

Studies show that in the districts of Astara, Lankaran, and Lerik, some deforested mountain slopes have developed grass vegetation, while others are used for agriculture. Compared to forests, these areas have weaker water regulation, soil protection, and climate-forming functions.

One of the main reasons for the sharp change in soil fertility indicators is the shift in land use. Previously, brown mountain-forest, yellow mountain-forest, and pseudopodzolic yellow soils were mainly under forests, pastures, or hayfields, while now they are intensively cultivated with cereals, vegetables, citrus crops, and tea plantations. For example, humus reserves in mountain-forest yellow soils in the 0–20 cm layer decreased from 130.4 t/ha in 1956 to 99.7 t/ha today, a reduction of 30.7 t/ha. Similarly, in pseudopodzolic yellow soils, humus decreased from 105.8 t/ha to 79.4 t/ha, a reduction of 26.4 t/ha [1; 6].

Research also shows that dragging felled trees down slopes creates furrows in the soil, initiating erosion that can eventually develop into gully erosion. Over time, these furrows merge into gullies, leading to severe landscape fragmentation, soil degradation, and forest decline.

Most soils currently used for citrus cultivation originally developed under forest cover and have undergone significant changes due to human activity. Long-term plowing along slopes without soil-protective measures has intensified erosion. Rainwater fails to infiltrate the soil, creating surface runoff that washes away soil and forms gullies.

Climate is one of the key natural factors influencing erosion. The Lankaran region's climate is shaped by its proximity to the Caspian Sea and mountainous terrain, which promotes moisture condensation. At the same time, the dry continental climate of the Iranian plateau affects the region, causing uneven precipitation distribution. Annual precipitation ranges from about 600 mm in the north to 1400 mm in the south and up to 1900 mm in foothill zones [5]. After dry summer months, increased autumn precipitation, especially heavy rains, combined with anthropogenic pressure, reduces water infiltration and creates favorable conditions for water erosion.

Heavy and intense rainfall, combined with slope-oriented farming practices, has led to widespread and intensive surface erosion in tea plantations.

Field studies in Khanbulan village recorded soil loss after a rainfall event of 38.3 mm on September 20, 2024. In a tea plantation established in 1975, rainfall intensity of 2.0 mm/min resulted in an average soil loss of 47.1 m^3/ha. This significantly ухудшило water-physical properties such as moisture, infiltration capacity, bulk density, and porosity.

Another study showed that slope gradient strongly affects erosion: at a slope of 3°, soil loss was 15.2 m^3/ha, while at 6°, it increased to 45.7 m^3/ha [3].

Experiments conducted in 2025 demonstrated that erosion control measures such as temporary water-retaining strips and soil ridges between rows significantly reduced soil loss–from 40.8 m^3/ha in the control plot to 6.8 m^3/ha or even zero in treated plots.

Surface erosion also affects downstream areas by depositing sediment on fertile lands, reducing their productivity, and causing silt accumulation in drainage systems, rivers, and reservoirs.

Even on gentle slopes (1–2°), soils with low infiltration capacity can experience surface runoff. Surface erosion is often more dangerous than linear erosion because it is less noticeable in early stages. If not controlled, it can lead to more severe forms such as gully erosion and landslides.

Overall, the complex interaction of natural conditions and anthropogenic factors contributes to erosion in the plains and foothill areas of the southeastern Lankaran region. The most severe erosion occurs in mountain agriculture zones, summer pastures, and village grazing lands.

To preserve natural soil fertility and restore degraded soils, a комплекс approach involving organizational, agrotechnical, forest, meadow, and hydromeliorative measures is necessary. A key method is the creation of engineering-biological sys-

tems (EBS), including protective forest belts, erosion-control hydraulic structures, and supporting measures such as grass planting and soil-protective farming techniques.

Forest belts combined with simple hydraulic structures are particularly effective in reducing both surface and subsurface runoff.

On heavily degraded soils, additional agromeliorative measures such as deep plowing, loosening of compact layers, surface leveling, and installation of drainage systems are required.

Contour planting of tea on slopes (8°–20°) helps prevent erosion and restore soil fertility. Cross-slope planting reduces soil washout and promotes natural terrace formation. Strip cropping on slopes is another effective method, reducing runoff velocity, increasing soil moisture, and preventing erosion.

Autumn sowing of perennial legumes and grasses also plays an important role in erosion control and soil restoration by improving soil structure and infiltration.

To prevent irrigation erosion, proper land leveling and regulation of irrigation norms are essential.

In conclusion, erosion reduces soil fertility, agricultural productivity, and ecosystem stability. Therefore, integrated implementation of agrotechnical, meliorative, and organizational measures is crucial to prevent this process.

References

1. Akbarova U. Effect of precipitation on erosion in Lankaran Natural Area. Bulletin of Science and Practice, 2023.
2. Akbarova U. Investigation of irrigation erosion in pseudopodzolic yellow soils of the Lankaran district. Bulletin of Science and Practice, 2024.
3. Akbarova U. Z. Impact of erosion on irrigated gley-yellow soils in Lankaran. Ecology and Water Management Journal, 2014.
4. Erosion and Irrigation Research Institute materials, Baku, 2023.
5. Hajiyev Q. A., Rahimov V. A. Climate characteristics of Azerbaijan SSR regions. Baku, 1977.
6. Kovalev R. V. Soils of the Lankaran region. Baku, 1966.

УДК 630*231.32+630.43:630.221

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОЙ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ В ХОДЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО БИОУДОБРЕНИЯ ПОСЛЕ РУБОК И ПОЖАРА В ПОГОРЕЛЬСКОМ БОРУ

Г. И. Антонов, И. Д. Гродницкая, Г. Г. Полякова, В. А. Сенашова

Институт леса им. В. Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН
Красноярск, egoan@yandex.ru

В ходе работ по почвенной биоиндикации в районе Погорельского бора Красноярской лесостепи отмечалось изменение биологической активности почвы после рубок разной интенсивности и различных способов очистки лесосек от лесосечных отходов [1]. Переработка порубочных остатков в щепу аппаратом РМ-4 под сосняками разнотравно-зеленомошными способствовала ускорению разложения измельченной древесно-опилочной массы, скорейшей минерализации и появлению подроста на вырубках. В ходе дальнейших экспериментов по созданию удобрительных композиций на основе измельченных порубочных остатков и опилок сосны, а также мульчированию почвы на технологических участках рубок, и применению биоудобрений в условиях лесопитомника [2] получено инновационное биоудобрение – ОПСМ (опилочно-почвенный субстрат с микопродуктом).

Интенсивность рубки по запасу в сосняке разнотравно-зеленомошном составила 29 %. Через три года были заложены пробные площади в виде прямоугольников (лент) размером 2×6 м. Пробные площади закладывались на технологических участках – пасеке (участке рубки, оставленном для семенного лесовозобновления) и волоке (участке рубки, где осуществлялась трелевка и подвозка древесины). Также одна лента была заложена в нетронутом рубкой сосняке, который служит фоном. В верхние органические горизонты фона, пасеки и волока вносили ОПСМ – около 5 кг на 1 м^2. Дублирующие контрольные ленты (без применения ОПСМ) были расположены рядом на фоне, пасеке и волоке (рис.). Для подсчета количества всходов и подроста каждую из четырех лент подразделяли на 48 ячеек размером 0,5 м на 0,5 м. Еще через год, 7 мая 2022 г. в районе исследований произошел низовой пожар, и биоудобрение было внесено повторно в начале сезона.

Учет самосева показал, что в 2020 г. на экспериментальных участках сосняка отмечено небольшое положительное влияние биоудобрения на лесовозобновление. В течение года наблюдений отмечали более низкую густоту всходов на пасеках по сравнению с волоками (табл. 1). Возможно, это связано с недостаточной освещенностью под пологом сосны на пасеке. На волоке, где деревья были убраны при проведении выборочной рубки, световые условия были более благоприятны для всходов и самосева сосны, что сказалось на увеличении их количества [4]. Отмечено, что на пасеке количество всходов и самосева в опытном варианте с внесением ОПСМ было достоверно больше, чем в контроле

($p < 0,05$), биоудобрение здесь стимулировало естественное лесовозобновление. На волоке к концу сезона 2020 г. (сентябрь) стимулирующего эффекта не обнаружилось, количество всходов в контрольном варианте было выше, чем в опытном. Однако на второй год наблюдений на волоке количество всходов во время вегетации (июль 2021 г.) в опытном варианте было в четыре больше, чем в контроле. Такой же тренд сохранился и в сентябре 2021 г., где количество всходов достигало 31 шт/м^2. К тому же подроста сосны по волокам было заметно больше, чем всходов, и это свидетельствует о том, что всходы сосны успешно перешли в категорию подроста на второй год после применения ОПСМ.

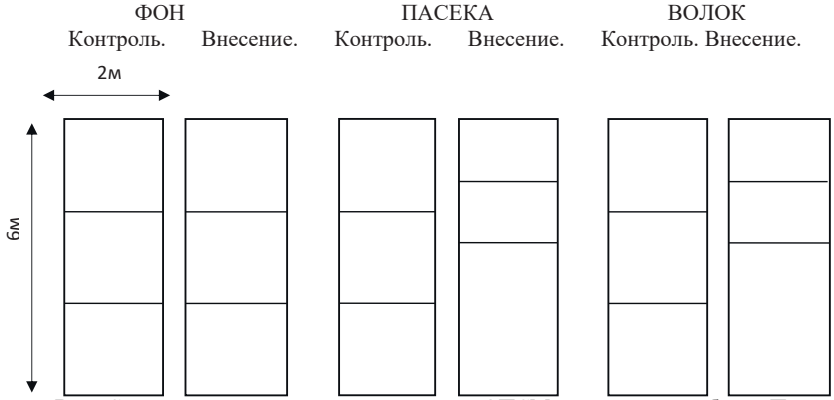


Рис. Схема эксперимента по применению ОПСМ на участках рубок в Погорельском бору

Однако при пожаре 2022 г. весь самосев сгорел, и термическое повреждение привело к нарушению основного и вторичного метаболизма у всходов и подроста. Через год после закладки новых участков с применением ОПСМ было зарегистрировано обилие появившихся всходов сосны, как на опытных, так и на контрольных участках. Несмотря на то что пожар случился в 2022 г. 7 мая – до начала фазы вегетации сосны и побеги были ущербными, в июле 2023 г. количество всходов составило уже 120 шт/м^2 фоне, 78 шт/м^2 на пасеке и 92 шт/м^{2}на волоке, а на участках с внесением ОПСМ – 162 шт/м^2, 159 шт/м^2 и 156 шт/м^2 соответственно. Еще через год количество всходов после внесения ОПСМ продолжало увеличиваться на технологических участках в 2–3 раза, составляя на волоке к сентябрю 2024 г. – 143 шт/м^2 (табл.).

После пожара и повторного внесения ОПСМ всхожесть на Волоке и Пасеке перестала резко различаться. Достоверное стимулирующее действие ОПСМ в сопряжении с частичным прореживанием соснового древостоя выборочными рубками и пройденным низовом пожаром в итоге положительно сказались на густоте сосновых всходов. Отмечено, что на Пасеке количество всходов и самосева в опытном варианте с внесением ОПСМ было достоверно больше, чем в контроле ($p < 0,05$), биоудобрение здесь стимулировало естественное лесовозобновление. На Волоке, где деревья были убраны при проведении выборочной

рубки, световые условия были более благоприятны для всходов и самосева сосны, что сказалось на увеличении их количества. Это можно объяснить рядом причин: повышением плодородия почвы из-за поступления в нее золы, уничтожением конкурентной растительности, разреживанием крон, повышением освещенности и оптимизацией почвенных гидротермических условий [3]. Нельзя исключать вероятность повышения качества «послепожарных» семян в связи с мобилизацией ресурсов дерева, ослабленного термическим стрессом, направленной на повышение качества семян [5].

Таблица

Самосев сосны на участках выборочных рубок до и после пожара, шт/м^2 (n = 9)

Время учета	Категория самосева	Контроль			Внесение ОПСМ		
		Фон	Пасека	Волок	Фон	Пасека	Волок
		2020					
Июнь	Всходы	10,1±1,3	2,3±0,5	22,9±3,3	11,5±1,3	6,2±0,9	29,7±3,5
	Подрост	0,7±0,3	1,7±0,6	19,3±3,9	-	1,3±0,5	12,9±3,4
Сентябрь	Всходы	14,7±1,5	4,4±0,7	30,2±2,5	10,7±1,7	10,2±1,4	22,6±1,7
	Подрост	0,4±0,2	1,8±0,5	18,0±1,9	-	1,4±0,5	16,2±2,0
2021							
Июль	Всходы	0	0,1±0,08	0,5±0,2	0,2±0,09	0	2,1±0,5
	Подрост	9,0±1,2	3,5±0,6	43,2±2,9	7,9±1,5	9,8±1,4	33,4±2,8
Сентябрь	Всходы	-	3,2±0,7	26,7±2,9	-	6,9±1,1	31,5±2,4
	Подрост	-	3,1±0,6	32,4±2,5	-	7,5±1,2	34,7±2,3
2023; год после пожара и повторного внесения биоудобрения							
Июль	Всходы	119,6±6,49	78,17±4,55	92,44±5,38	162,8±5,76	159,2±7,02	156,6±7,97
	Подрост	8,8±1,10	3,7±0,73	8,0±0,82	5,1±0,70	7,7±1,03	10,0±0,82
Сентябрь	Всходы	80,42±5,10	43,33±7,13	75,12±6,56	67,42±4,07	121,1±8,81	130,3±7,89
	Подрост	9,2±1,00	4,9±0,77	7,5±0,78	4,9±0,73	9,9±1,05	10,5±0,83
2024							
Июнь	Всходы	66,08±5,46	33,58±6,45	55,42±5,48	38,08±3,15	100,41±7,73	115,75±8,51
	Подрост	8,5±1,02	3,9±0,67	22,25±2,82	2,4±0,47	8,2±1,18	13,1±1,07
Сентябрь	Всходы	80,25±5,49	41,75±6,28	75,75±6,05	46,16±3,93	113,75±7,59	143,4±8,59
	Подрост	20,06±1,02	10,4±1,57	18,9±1,51	11,54±0,98	28,4±1,90	35,8±2,15

Таким образом, внесение ОПСМ после низового пожара в верхние органогенные горизонты почвы экспериментальных участков сосняков Погорельского бора положительным образом повлияло на увеличение количества всходов и подроста на технологических участках рубки. Повторное внесение ОПСМ после пожара оказало активизирующее воздействие на почвенную микробиоту всех экспериментальных участков, что отразилось в улучшении почвенных лесорастительных условий для прорастания семян сосны. Разработанные сотрудниками лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии ИЛ СО РАН биоудобрения на основе сосновых опилок, верхнего плодородного слоя почвы и микопродукта дереворазрушающих базидиомицетов проявляют свою эффективность не только при искусственном лесоразведении, но и способствуют стимуляции естественного лесовозобновления после рубок и пожаров.

Работа выполнена в рамках базового проекта FWES-2024-0029.

Литература

1. Антонов Г. И. Евграфова С. Ю., Иванов В. В. Биоиндикация лесорастительного состояния почв сосняков Красноярской лесостепи после несплошных рубок разной интенсивности // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2014. № 3. С. 18–28. URL: http://journal.spb-niilh.ru/pdf/3-2014/spbniilh-proceedings-3-2014-2-full.pdf

2. Влияние опилочно-почвенных субстратов на рост саженцев сосны и ели в лесопитомнике экспериментального хозяйства “Погорельский бор” / Г. И. Антонов, А. П. Барченков, Н. В. Пашенова, О. Э. Кондакова, И. Д. Гродницкая // Лесоведение. 2021. № 3. С. 303–317

3. Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья / Г. А. Иванова, Е. А. Кукавская, И. Н. Безкоровайная [и др.]. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.

4. Иванов В. В., Семенякин Д. А. Влияние выборочных рубок на продуктивность сосновых древостоев в условиях Красноярской лесостепи // Сибирский лесной журнал. 2021. № 1. С. 58–67.

5. Полякова Г. Г. Физиологические механизмы иммунитета хвойных на примере взаимодействия флоэмы ствола и офиостомовых грибов : автореф. дис. … д-ра биол. наук : 03.01.05. Красноярск, 2012. 31 с.

OPTIMIZATION OF THE FOREST-VEGETATION CAPACITY OF SOIL IN THE COURSE OF INNOVATIVE BIOFERTILIZER APPLICATION AFTER FELLING AND FIRE IN POGORELSKY PINE FOREST

G. I. Antonov, I. D. Grodnitskaya, G. G. Polyakova, V. A. Senashova
V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

During the work on the use of OPSM-biofertilizer in the Pogorelsky pine forest of the Krasnoyarsk forest-steppe, it was found that this innovative biofertilizer had a positive effect on the soil biopotential and the amount of Scots pine (Pinus sylvestris L.) undergrowth after selective logging and in the first year after the fire. In the first three years after felling, all experimental variants showed a promoting forest recreation compared to the control. And the fire in May 2022 led to an increase in the forest vegetation conditions during the growing season in experimental areas with the use of biofertilizer and significant stimulation of pine seedfall formation in post-fire technological logging sites (swaths and skids).

УДК 661.183:1

РЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БИОЧАРА И МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ: ВЛИЯНИЕ НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Т. В. Бауэр, А. В. Барахов, М. В. Бурачевская, Т. М. Минкина

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

Почва как частично возобновляемый ресурс играет важную роль в функционировании наземных экосистем и биосферы в целом [3]. При этом в последние десятилетия отмечается активный рост загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ), которые не только наносят вред экосистемам и снижают сельскохозяйственное производство, но и представляют угрозу для здоровья человека. Среди существующих подходов к очистке почв одним из самых эффективных является стабилизация с помощью сорбентов. Этот метод обеспечивает переход металлов из легкодоступных для биоты форм в стабильные. Одним из сорбентов, применяемых при ремедиации загрязненных почв, является биочар – углеродистый твердый пористый материал, получаемый путем пиролиза органической биомассы в анаэробной среде. Способность биочара иммобилизовать металлы определяется его химическими и физическими характеристиками, среди которых важную роль играют пористая структура, удельная поверхность и разнообразные функциональные группы биочара. Однако потенциал биочара для ремедиации почв ограничен из-за относительно низких показателей пористости, что может приводить к сложностям его применения на почвах с высоким уровнем загрязнения, либо к большому расходу продукта.

Адсорбционные свойства биочара могут быть улучшены с помощью различных методов модификации его поверхности [6], одним из которых является создание композитных материалов путем функционализации его поверхности, в частности, высокопористыми металлорганическими каркасами (МОК). Это относительно новый класс соединений, состоящих из ионов металлов/металлических кластеров и мостиковой органической молекулы – линкера, который связывает ионы металлов в трехмерный каркас, пронизанный полостями и каналами [1]. МОК среди всех сорбционных материалов характеризуются рекордными значениями удельной площади поверхности (1000~14000 $м^2/г$), высокой химической и термической стабильностью [2]. Однако их использование в чистом виде ограничено из-за высокой стоимости, и добавление к ним в процессе синтеза более дешевых углеродистых материалов, полученных из различных органических отходов, позволяет создавать композиты с высокими сорбционными характеристиками [7].

Цель работы состояла в синтезе композитных материалов на основе биочара и МОК и оценке их эффективности в трансформации тяжелых металлов в почвах.

Исследования были проведены в условиях модельного вегетационного опыта на черноземе обыкновенном карбонатном (0–20 см), отобранном на залежных участках ООПТ «Персиановская заповедная степь» (Ростовская область, Октябрьский район), не поддверженной техногенному загрязнению (Контроль) и на территории зоны влияния угольной промышленности (Фон) – в 200 м от насыпной толщи углеотвала шахты Аютинская (Ростовская область), прекратившей свою деятельность в 2006 г. В качестве сорбентов использовали биочар из соломы пшеницы и нанокомпозит из биочара и МОК MIL-100(Fe) на основе ионов железа и тримезиновой кислоты. Для получения биочара проводили пиролиз предварительно измельченной (5–10 мм) соломы пшеницы при 500 °С в течение 45 мин и скорости нагрева 10 °С/мин в лабораторной установке (объем 2,2 л) из нержавеющей жаропрочной стали толщиной 4 мм. Нанокомпозит получали методом *in-situ* формирования MIL-100(Fe) на матрице биочара. Для этого трехкратное относительно выхода МОК количество биочара прибавлялось к суспензии порошка железа и тримезиновой кислоты, после чего проводили гидротермальный синтез. Удельная площадь поверхности ($S_{пов-ти}$) и общий объем пор ($V_{общ}$) у биочара составили 72 $м^2/г$ и 0,046 $см^3/г$, у нанокомпозита – 419 $м^2/г$ и 0,194 $см^3/$, соответственно. Таким образом, покрытие биочара наночастицами MIL-100(Fe) привело к 6-кратному увеличению $S_{пов-ти}$ и 4-кратному увеличению $V_{общ}$.

Для проведения модельного вегетационного опыта в сосуды с закрытой дренажной системой помещали по 2 кг почвы, очищенной от растительных остатков и просеянной через сито с диаметром отверстий 3 мм. Затем вносили сорбенты были внесены в дозах 1 % и 2 % от общего объема почвы. Инкубационный период почв с сорбентами длился 6 месяцев при поддерживании влажности в образцах на уровне 60±2 % от полной влагоемкости путем периодического полива дистиллированной водой. Затем проводили посев тест-культуры ярового ячменя двурядного (*Hordeum sativum*) сорта «Ратник» семейства Мятликовые (*Poaceae*) в количестве 15 шт на сосуд и выращивали при комнатной температуре (25±2 °С) и освещении фотолампой (цикл свет-темнота 16/8 ч) до окончания фазы кущения. После завершения опыта отбирали почвенные образцы для анализов. Общее содержание ТМ (Cu и Zn) в исследуемых образцах определено методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Фракционный состав соединений ТМ проанализирован методом последовательной экстракции BCR в модификации [5], который предусматривает выделение кислоторастворимой/обменной и связанной с карбонатами (F1), восстанавливаемой (F2), окисляемой (F3) и остаточной (F4) фракций. Концентрации металлов во фракциях получены методом ICP-MS на приборе SUPEC 7000 (FPI, Китай). Выделяемые фракции разделены на три категории [8]: биодоступные (F1 и F2), потенциально биодоступные (F3) и небиодоступные (F4).

Для оценки потенциальных экологических рисков в почвах и влиянии на них сорбентов использовался код оценки риска (risk assessment code, RAC), определяемый как доля металла в кислоторастворимой фракции F1. Величина RAC позволяет выделить пять классов: I класс – нет риска, RAC ≤ 1 %; II класс – низкий риск, 1 % < RAC ≤ 10 %; III класс – средний риск, 10 % < RAC ≤ 30 %; класс IV – высокий риск, 30 % < RAC ≤ 50 %; класс V – очень высокий риск, RAC > 50 % [4].

В незагрязненной почве (Контроль) выявлено высокое содержание металлов в остаточной фракции F4, которая для обоих элементов является доминирующей (76–77 % от суммы фракций), и низкое (3–4 %) в биодоступной фракции F1. Доля металлов в потенциально биодоступных восстанавливаемой F2 и окисляемой F3 фракциях составила 5–10 % и 10–15 %, соответственно. Большим содержанием фракции F2 отличался Zn, фракции F3 – Cu.

В загрязненной почве доля стабильной фракции F4 снизилась до 42–38 %. Обратная закономерность выявлена для наиболее подвижной фракции F1, доля которой для Cu увеличилась до 11 % и для Zn до 19 %. В исследуемой почве Cu до 34 % накапливалась в окисляемой фракции F3, демонстрируя сильную связь с органическим веществом, тогда как Zn в большей степени концентрировался в восстанавливаемой фракции F2 (27 %), проявляя высокое сродство к полуторным оксидам. Расчет индекса RAC показал, что в контрольной почве Cu (2,5) и Zn (4,1) представляли низкий экологический риск (1 % < RAC ≤ 10 %); в почве Фон – средний (Cu (10,8 %), Zn (18,5 %)).

Внесение сорбентов в почвы способствовало более быстрой трансформации металлов за счет перехода части нестабильной фракции (F1) в относительно стабильную окисляемую (F3) и стабильную остаточную (F4). Скорость трансформации металлов в большей степени зависела от вида сорбента и дозы его внесения в почвы. Под действием биочара доля фракции F1 Cu снизилась с 11 % до 3–6 %, Zn – с 19 до 11–15 %, соответственно. Применение нанокомпозита привело к снижению содержания фракции F1 Cu до 1–4 % и Zn – до 6–11 %, соответственно. Доля фракции F4 при внесении биочара увеличилась для Cu до 46–53 %, для Zn – до 46–55 %, соответственно. При внесении нанокомпозита отмечалось более выраженное повышение доли фракции F4: для Cu до 50–59 %, для Zn – до 51–62 %, соответственно.

Значения индекса RAC в почве Контроль при внесении биочара снизились до 1,2–0,2 % для Cu и до 1,4–0,5 % для Zn, что означает низкий экологический риск (1 % < RAC ≤ 10 %) или его отсутствие (RAC ≤ 1 %). В почве Фон величины RAC для Cu изменились со среднего уровня (10,8) на низкий (6,3–3,0), тогда как для Zn остались на уровне среднего риска (15,3–10,5). Во всех случаях нанокомпозит показал более высокую эффективность: в почве Контроль RAC снизился до 0,2–0,1 % для Cu и 0,7–0,2 % для Zn (отсутствие риска); в почве Фон – до 4,1–0,9 % для Cu (при 1 % – низкий риск, при 2 % – отсутствие риска) и 10,6–5,9 % для Zn (при 1 % – средний риск, при 2 % – низкий риск). При этом внесение 2 % нанокомпозита полностью устранило риск для Cu во всех почвах и перевело Zn в категорию низкого риска даже в загрязненной почве.

В целом во всех случаях внесение нанокомпозита показало большую эффективность в стабилизации Cu и Zn в почвах по сравнению с биочаром. На всех вариантах наилучший результат установлен при внесении 2 % нанокомпозита.

Таким образом, полученные высокопористые композитные сорбенты на основе биочара из соломы пшеницы и МОК MIL-100(Fe) являются перспективными материалами для ремедиации загрязненных тяжелыми металлами почв.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075–15–2025–686.

Литература

1. Metal-organic frameworks in russia: from the synthesis and structure to functional properties and materials / M. A. Agafonov, E. V. Alexandrov, N. A. Artyukhova [et al.] // Journal of Structural Chemistry. 2022. Vol. 63, N 5. P. 671–843.

2. MIL-100(Fe) and its derivatives: from synthesis to application for wastewater decontamination / Y. Fang, Z. Yang, H. Li, X. Liu // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27, N 36. P. 45135–45147.

3. Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability / D. Hou, D. O'Connor, A. Igalavithana [et al.] // Nature Reviews Earth and Environment. 2020. Vol. 1. P. 366–381.

4. Heavy metal speciation in the sediments of Northern Adriatic Sea. A new approach for environmental toxicity determination / G. Perin, L. Craboledda, L. Lucchese [et al.]. 1985.

5. Use of the Modified BCR three-step sequential extraction procedure for the study of trace element dynamics in contaminated soils ./ Pueyo M., Mateu J., Rigol A., Vidal M., López-Sánchez J., Rauret G. // Environmental Pollution. 2008. Vol. 152. P. 330–341.

6. Nanobiochar: production, properties, and multifunctional applications / S. Ramanayaka, M. Vithanage, D. Alessi [et al.]. // Environmental Science-Nano. 2020. Vol. 7. P. 3279–3302.

7. Rojas S., Rodríguez-Diéguez A., Horcajada P. Metal–organic frameworks in agriculture // ACS Applied Materials Interfaces. 2022. Vol. 14. P. 16983–17007.

8. Wen J., Yi Y., Zeng G. Effects of modified zeolite on the removal and stabilization of heavy metals in contaminated lake sediment using BCR sequential extraction // Journal of Environmental Management. 2016. Vol. 178. P. 63–69.

REMEDIATION OF HEAVY METAL CONTAMINATED SOILS USING BIOCHAR-BASED MATERIALS AND METAL-ORGANIC FRAMEWORKS: IMPACT ON FRACTIONAL COMPOSITION AND ENVIRONMENTAL RISKS

T. V. Bauer, A. V. Barakhov, M. V. Burachevskaya, T. M. Minkina
Southern Federal University, Rostov-on-Don, bauertatyana@mail.ru

Promising sorbents for soil remediation were synthesized: biochar from wheat straw and a composite sorbent based on it with nanoparticles of the metal-organic framework MIL-100(Fe). In a model vegetation experiment, the effects of the obtained sorbents on the transformation of Cu and Zn in Haplic Chernozem. Sorbent application (1–2 %) promoted a 4–8 % shift of metals from the bioavailable fraction to more stable oxidizable and residual fractions. Risk assessment code (RAC) values for both metals decreased from 10,8–18,5 % to 0,1–15,3 %. In all cases, the nanocomposite at 2 % dose showed the highest efficiency in metal stabilization.

УДК 631.4(8)+332.3+550.4

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ, ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ПОБЕРЕЖЬЯ БАЙКАЛА

И. А. Белозерцева[1,2], И. Б. Воробьева[1], Н. В. Власова[1], М. С. Костюкова [1]

[1]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, belozia@mail.ru
[2]Иркутский государственный университет, Иркутск

Несмотря на большой исследовательский интерес к оз. Байкал в научной литературе [1; 2 и др.] геохимические характеристики природных сред побережья озера и источники загрязнения освещены недостаточно полно. Кроме того, со временем меняется антропогенная нагрузка и климатические условия. По результатам многолетних исследований составлены карты: 1) загрязнения прибрежных вод Байкала и рек Центральной экологической зоны Байкальской природной территории, 2) загрязнения и деградации почв ЦЭЗ БПТ (рис.). В 2015–2025 гг. в весенне-зимний, летний и осенний периоды на ключевых участках побережья отобраны образцы поверхностных вод (более 500) и почв (более 400), по стандартным методикам проведены химические анализы в полевых и лабораторных условиях ИГ СО РАН. Основные источники загрязнения почв южного и западного побережья Байкала через атмосферу – выбросы предприятий и котельных, расположенных в населенных пунктах Слюдянка, Байкальск, Листвянка, Култук, Сарма. Загрязнение почв локальное. В связи с закрытием БЦБК экологическая ситуация в Байкальске улучшилась. На территории н. п. Култук, Слюдянка, Байкальск, Мурино, Новоснежная выявлены повышенные содержания токсичных элементов в почвах, мг/кг: Pb до 124, Zn – 103, Ni – 57, Co – 22, Cu – 43, превышающие ПДК [3] в 1,1–3,9 раз. Содержание нефтепродуктов в почвах пос. Новоснежная и Мурино превышает их фоновое значение (21,7 мг/кг) [4] в 7,6 раз. Индекс суммарного загрязнения почв Zc по [5] (по отношению к фоновому содержанию [1]) населенных пунктов юго-западного побережья имеет значения от 0,2 (г. Слюдянка) до 8,5 (пос. Новоснежная). В пос. Листвянка наблюдается острая экологическая ситуация, так как он расположен на небольшой территории и окружен скалами. Многие туристы находятся в поселке транзитом. На территории Листвянки зафиксировано загрязнение почв ТМ, мг/кг: (Ni – 47, Co – 35, Zn – 122, содержание которых превышает ПДК в 2–2,4 раза. Однако индекс суммарного загрязнения (по [5]) почв невысокий Zc = 0,9. Самая привлекательная и посещаемая туристами рекреационная территория на западном побережье Байкала – Приольхонье. Выявлено загрязнение почв побережья Малого Моря. В почвах наблюдаются повышенные содержания Mn, Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Zn (до 6010, 79, 128, 59, 137, 61, 87 мг/кг соответственно), превышающие ПДК в 1,1–6,4 раз. Индекс суммарного загрязнения почв Zc варьирует от 0 до 12. Источником загрязнения почв ТМ может быть не только антропогенный, но и природный – почвообразующие породы [1].

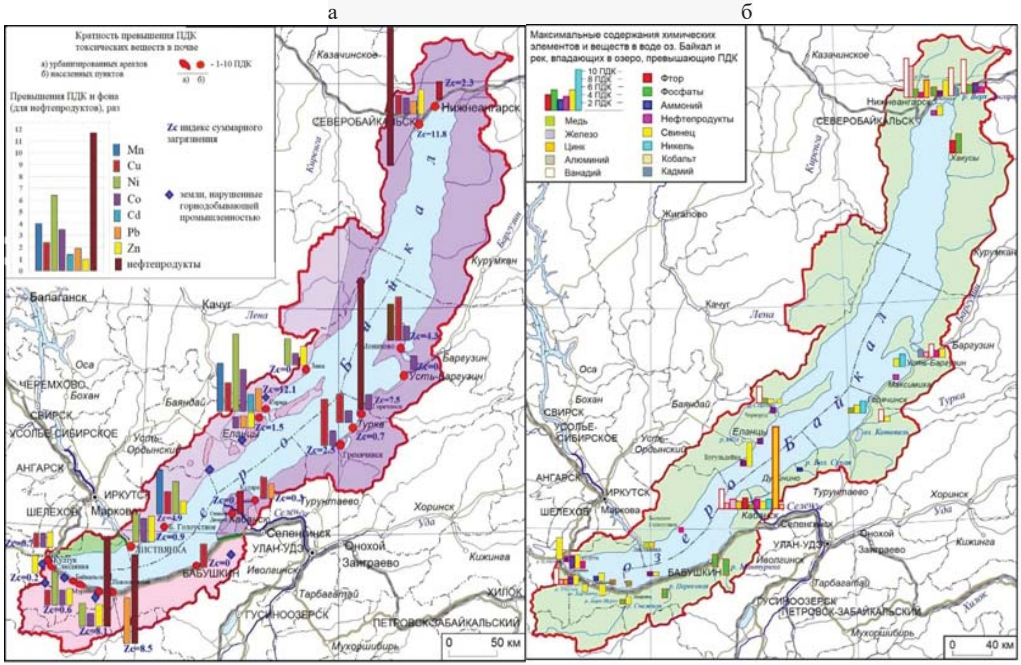


Рис. Загрязнение почв (*а*) и поверхностных вод (*б*) ЦЭЗ БПТ

Природные провинции (цвет фона) (*а*): Восточно-Саянская среднегорно-таежная (зеленый); Хамар-Дабанская средне- и высокогорно-таежная (розовый); Прибайкальская низко- и среднегорная среднетаежная и подгорная остепненная (светло-фиолетовый); Северо-Байкальская среднегорно-таежная (фиолетовый) [6]. Степень деградации почв сельхозугодий (цвет линии штриховки) – низкая (зеленые), средняя (желтые), сильная (красные линии) [6]; ПДК для Mn – 1500, Cu – 33, Ni – 20, Co – 17, Cd – 0,5, Pb – 32, Zn – 55 мг/кг [3]; фон для нефтепродуктов – 21,7 мг/кг по [4]. Территория Центральной экологической зоны Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ) – зеленый цвет фона (б). ПДКпв – предельно допустимые концентрации для питьевой воды, ПДКпв – для воды водных объектов рыбохозяйственного значения. ПДКпв/ПДКрх для F^- – 1,2/0,05,PO_4^{3-} – 3,5/0,05, NH_4^+ – 1,5/0,5, Pb – 0,01/0,006, Ni – 0,02/0,01, Cu – 1/0,1, Fe – 0,3/0,1, Zn – 5/0,01, V – 0,1/0,001, Co – 0,1/0,01, Cd – 0,001/0,005, нефтепродукты – 0,3/0,05 мг/кг [3; 7]. Кратности превышения норм для рыбохозяйственных целей обведены красным контуром.

В Приольхонье встречаются почвы с повышенным содержанием Fe и сопутствующих металлов, так как на данной территории обнаружены проявления месторождения железа и меди.

Еще одним излюбленным местом отдыха на Байкале является пос. Большое Голоустное. Большая часть туристов приезжают на своем транспорте с палатками. Выявлено высокое содержание Zn (60 мг/кг), Ni (35 мг/кг) и Mn (5707 мг/кг) в почвах побережья, превышающее ПДК в 1,1, 1,8, 3,8 раз соответственно. Природным источником загрязнения почв могут быть почвообразующие породы, обогащенные макро- и микроэлементами. Zcпочв варьирует от 0 до 4,9. В почвах восточного побережья Байкала обнаружены локальные участки с высоким содержанием Pb (до 42 мг/кг), Co (24 мг/кг), Cu (134 мг/кг), превышающее ПДК в 1,1–3,7 раз вблизи населенных пунктов Монахово, Усть-Баргузин, Горячинск, Турка, Гремячинск, Кудара, Степной Дворец. Превышения фоновых значений установлены для максимальных концентраций (в мг/кг) Ba – до 1583, Sr – 604, V – 142, нефтепродуктов – 258. Индекс суммарного загрязнения почв Zc = 4,3 в Монахово (популярное среди туристов побережье залива Чивыркуйский) и Zc = 7,5 около с. Горячинск. В селе находится один из старейших из бальнеологических и грязевых курортов. В почвах северо-западного побережья Байкала (устья рек Тыя и Кичера, г. Северобакальск, пос. Нижнеангарск) выявлены повышенные концентрации Cu, Co, Pb, Zn (59, 24, 35, 115 мг/кг соответственно), превышающие ПДК в 1,1–1,8 раз. Содержание нефтепродуктов в почвах Северобайкальска превышает фоновый уровень в 11,7 раз. Северобайкальск – важный транспортный узел. Здесь находится крупная железнодорожная станция, управление Северобайкальским регионом Восточно-Сибирской железной дороги. Промзона находится менее, чем в 300 м от уреза воды Байкала. Резервы электроэнергетики на территории района отсутствуют, поэтому используют уголь. Индекс суммарного загрязнения почв в Нижнеангарске Zc = 2,3, в Северобайкальске Zc = 11,8. Также установлены высокие концентрации Cu и Co в почвообразующих породах, что связано с месторождениями и проявлениями рудной минерализации в этом регионе. Высокое содержание органического вещества, в некоторых случаях и фракции физической глины, слабощелочная и щелочная реакция среды способствуют накоплению ТМ в почвах береговой зоны.

Выявлено, что концентрации свинца в прибрежных водах оз. Байкал (в мг/дм^3) вблизи п. Бугульдейка и Култук – 0,06, п. Танхой – 0,010, г. Усть-Баргузин – 0,020, с. Горячинск – 0,020, г. Нижнеангарск – 0,023 (при ПДКпв (для питьевой воды) – 0,01 мг/дм^3[3], ПДКрх (для водных объектов рыбохозяйственного значения) – 0,006 мг/дм^3[7]). Максимальное содержание PO_4 (в мг/дм^3) в прибрежных водах озера около с. Горячинск – 0,06, с. Посольское – 0,05 (при ПДКпв – 3,5 мг/дм^3, ПДКрх – 0,05 мг/дм^3). Максимальные концентрации NH_4 в водах побережья озера напротив населенных пунктов Еланцы, Черноруд, Бугульдейка имеют следующие значения – 0,55, 0,60, 0,64 мг/дм^3 соответственно (при ПДКпв – 1,5 мг/дм^3, ПДКрх – 0,5 мг/дм^3). Выявлено высокое содержание меди и цинка в береговых водах, превышающее фоновые концен-

трации около Ольхонских ворот, пп. Кубурлик, Горячинск, Выдрино, Большие Коты, Бабушкин, Танхой, Листвянка, Большое Голоустное, составляющее более 0,01 мг/дм^3 (при ПДКпв – 1 мг/дм^3, ПДКрх – 0,01 мг/дм^3). Концентрации нефтепродуктов в прибрежных водах вблизи населенных пунктов Большое Голоустное, Слюдянка, Максимиха, Нижнеангарск составляют от 0,06 до 0,34 мг/дм^3 (ПДКпв – 0,3 мг/дм^3, ПДКрх – 0,05 мг/дм^3).

В водах рек Баргузин, Селенга, Утулик, Турка, Снежная, Хара-Мурино, Харлакта, Утулик, Култучная, Верхняя Ангара, Кичера, Тыя, Сарма, Анга обнаружены высокие концентрации загрязняющих химических элементов и веществ. Содержание свинца и фторидов в воде рек превышают ПДКпв, а концентрации железа, цинка, меди, фосфатов, аммония и нефтепродуктов – ПДКрх. Концентрации фтора в воде р. Селенга и подземных минеральных источников Хакусы достигают более 3 мг/дм^3. Повышенные концентрации фтора в воде р. Селенга и её притоков, включая источник Хакусы, связаны с природными факторами, а именно свлиянием различных по составу дренируемых коренных пород. Максимальное содержание свинца в воде рек Снежная, Утулик, Хара-Мурино, Турка, Баргузин, Селенга, Кичера, Култучная составляет 0,010, 0,011, 0,012, 0,013, 0,020, 0,020, 0,40, 0,42 мг/дм^3 соответственно (ПДКпв/ПДКрх – 0,01/0,006 мг/дм^3). Высокие концентрации PO_4 выявлены в реках Сарма, Снежная, Селенга, Верхняя Ангара, Тыя, имеющие значения – 0,050, 0,053, 0,06, 0,10, 0,10 мг/дм^3 соответственно (ПДКпв/ПДКрх – 3,5/0,05 мг/дм^3). Максимальное содержание NH_4, обнаружено в воде рек Верхняя Ангара и Кичера (1,04 и 0,55 мг/дм^3 мг/дм^3 соответственно) (ПДКпв/ПДКрх – 1,5/0,5 мг/дм^3). Концентрации нефтепродуктов в воде рек Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Тыя составляют 0,13, 0,08, 0,07, 0,07 мг/дм^3 соответственно (ПДКпв/ПДКрх – 0,3/0,05 мг/дм^3).

Содержание цинка и меди в водах рек Селенга, Кичера, Баргузин, Тыя, Турка превышает 0,02 мг/дм^3 (ПДКпв/ПДКрх – 1/0. 01 мг/дм^3). Концентрация железа в крупных реках восточного побережья оз. Байкал превышает фоновые содержания и составляет 0,17–0,37 мг/дм^3 (ПДКпв/ПДКрх – 0,3/0,1 мг/дм^3). Концентрации алюминия в р. Селенга, Баргузин, Тыя и Утулик превышают значения ПДКрх (более 0,04 мг/дм^3). Установлены повышенные содержания ванадия (выше ПДКрх, более 0,001 мг/дм^3) в воде рек Селенга, Баргузин, Верхняя Ангара, Тыя, Кичера, Турка, Утулик, Сарма. Выявлены концентрации кадмия выше ПДКрх в воде р. Кичера, Баргузин.

Высокие концентрации ТМ в воде рек связаны с сочетанием природных факторов и антропогенного воздействия. Территории водосборных бассейна рек богаты рудными месторождениями. Ландшафты устьевых участков рек, являющиеся геохимическим барьером для токсических веществ, аккумулируют загрязняющие вещества.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы 126020516558-5, № FWEM-2026-0002).

Литература

1. Геохимия окружающей среды Прибайкалья / В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг, Н. А. Китаев, И. С. Ломоносов. Новосибирск : Гео, 2008. 234 с.
2. Ходжер Т. В., Сороковикова Л. М. Оценка поступления растворимых веществ из атмосферы и с речным стоком в озеро Байкал // География и природные ресурсы. 2007. № 3. С. 185–191.
3. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf.
4. Белозерцева И. А. Опыт интегральной оценки экологического состояния почвенного покрова при добыче газа в Среднем Приангарье // Почвоведение. 2020. № 2. С. 244–258.
5. Ревич Б. А., Сает Ю. Е., Смирнова Р. С. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (Утв. 15 мая 1990 г. № 5174–90). http://docs.cntd.ru/document/1200087676
6. Деградация и загрязнение почв / И. А. Белозерцева, А. А. Сороковой, Д. Доржготов, А. Н. Бешенцев // Экологический атлас Байкальского региона. ИГ СО РАН. 2017. Карта № 139. http://atlas. isc. irk.ru
7. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552. URL: https://www.chemanalytica.ru/f/prikaz_minselkhoza_rossii_ot_13122016_n_552_ob_utverzhdenii_pdk.pdf

ECOLOGICAL STATE OF SOILS, SURFACE AND COASTAL WATERS OF LAKE BAIKAL

I. A. Belozertseva[1,2], I. B. Vorob'eva[1], N. V. Vlasova[1], M. S. Kostyukova[1]
[1]Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, belozia@mail.ru
[2]Irkutsk State University, Irkutsk

The aim of the research is to assess the current state and degree of pollution of surface water and soils along the Baikal coast. On the basis of the field and chemical analytical data obtained, maps of surface water and soil pollution in the central ecological zone of the Baikal Natural Territory were compiled. Elevated content of fluorides, ammonium nitrogen, phosphates, lead, nickel and oil products that exceed sanitary and hygienic standards were found in surface water near settlements along the Baikal coast. It was found that the concentrations of heavy metals in coastal soils exceed the MAC, which may be due not only to anthropogenic sources, but also to deposits of rare metals.

УДК 631.46

МИКРОБНАЯ И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСТАГРОГЕННОГО ДЕРНОВО-ПОДЗОЛА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЕСТЕСТВЕННОГО САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Т. Ю. Волкова[1], Е. С. Митрохина[1], А. И. Журавлева[1], Д. А. Хорошаев[1], В. М. Телеснина[2], И. Н. Курганова[1], Н. Д. Ананьева[1]

[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения им. В. А. Ковды РАН, Пущино
[2]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
volktanya@yandex.ru

В почвах сельскохозяйственного назначения и, прежде всего, пахотных, отмечают потерю органического углерода ($C_{орг}$), что приводит к снижению их плодородия [1]. Поэтому сохранение пула Сорг почвами остается актуальной проблемой для исследователей и практиков. В России в начале 1990-х г. более 45 млн га пахотных земель оказались стихийно выведенными из сельскохозяйственного оборота [2], что привело к их активному зарастанию естественной растительностью и последующему восстановлению углерод-секвестрирующей функции почв. Считают, что для полного самовосстановления почв в разных природных зонах нашей страны может потребоваться от нескольких десятков до двух сотен лет [1].

Микробный пул – важная и активная часть $C_{орг}$ почвы, через которую проходит весь поступающий в нее органический материал. Поэтому наше исследование было нацелено на сравнительный анализ содержания почвенного С-пула, включая и С-микробной биомассы, дыхательной и ферментативной активности почвы после прекращения ее распашки.

Объектом исследования служили участки агродерново-подзола (ReticAlbicPodzols) на современной пашне, залежах разного возраста (20, 25 лет) и во вторичном 50-летнем осино-березовом лесу (Костромская обл., Мантуровский р-н, 58.181101 – 58.181875 с. ш. / 44.472523 – 44.474841 в. д., высота над у. м. 165−167 м). В год отбора образцов (август 2025 г.) на пашне были посеяны многолетние травы, залежь 20-летнего возраста представлена разнотравно-злаковой растительностью с отдельными низкорослыми деревьями ивы козьей, а 25-летняя залежь – ивняком овсяницево-грушанковым с единичным подростом ели. На пашне, залежах разного возраста и в лесу выбирали по три площадки (~10 м друг от друга), на которых отбирали образцы верхнего 5-сантиметрового слоя (гумусово-аккумулятивный горизонт, подстилку в анализ не включали). Во всех 12 почвенных образцах определяли содержание $C_{орг}$ и общего азота $N_{общ}$ (метод сухого озоления, автоматический CN-анализатор CS 8024 NC Soil Specia, Италия), углерода микробной биомассы ($C_{мик}$, метод субстрат-индуцированного дыхания, регистрация наибольшего первоначального образования CO_2 после внесения глюкозы, 10 мг/г) [3], скорость базального (микробного) дыхания (БД) [3], значение pH в 1 M KCl вытяжке (почва:раствор = 1:2,5, потенциометрия) и активность гидролитических

ферментов: ксиланаза − осуществляет гидролиз гемицеллюлозы до ксиланов, характеризует цикл С; N-ацетил-ß-D-глюкозоаминидаза (далее − хитиназа) − разложение хитина до хитоолигосахаридов, цикл С и N; бета-глюкозидаза − гидролиз целлюлозы до целлобиозы и глюкозы, цикл С; фосфатаза − расщепление органических фосфатов, цикл Р. Почвенные образцы просеивали через сито (ячейки 2 мм) и делили на две части: свежие – для биологических анализов (хранение ≤2 недель, +4 °С); воздушно-сухие – для химических. Для определения БД во флаконы объемом 120 мл помещали 10 г почвы, увлажняли до 65−70 % наименьшей влагоемкости (НВ) и предварительно инкубировали 5 сут при 22 °С, чтобы избежать влияния разной исходной влажности. Затем флаконы проветривали, герметично закрывали и через 24 ч инкубации (22 °С) определяли концентрацию CO_2 в газовой фазе инфракрасным газоанализатором Li-Cor 820. Для определения $C_{мик}$ во флаконы с почвой после определения БД добавляли раствор глюкозы из расчета 10 мг/г почвы, инкубировали в течение 3−5 ч (время фиксировали) и затем измеряли концентрацию CO_2 во флаконах. Влажность почвы при определении $C_{мик}$ составляла 85 % НВ. Активность ферментов в свежих образцах почвы измеряли методом флюорогенно-меченых субстратов [5], который основан на использовании фермент-селективного субстрата (метилумбеллиферон, МУФ), который содержит флуоресцентное соединение. При гидролизе этого субстрата происходит высвобождение флуоресцентного соединения, количество которого измеряется флюорометрически. Измерения проводили на мультимодальном микропланшетном ридере (FilterMax F5), длина волны возбуждения эмиссии – 355 нм, волны испускания – 460 нм. Рассчитывали отношения $C_{мик}/C_{орг}$ (%) и БД/$C_{орг}$ (мкг С-CO_2/(г $C_{орг}$×ч), которые характеризуют «качество» $C_{орг}$ и его доступность для микробного разложения или «минерализационный» потенциал [4]. Химические и биологические измерения выполнены в 3-х повторностях, результаты выражены на вес сухой почвы (105ºС, 8 ч).

В почве 50-летнего леса содержание $C_{орг}$ оказалось в среднем почти в 3 раза, а $N_{общ}$ – в 2 раза больше, чем на пашне (табл.). Отношение С/N в почвах залежи (25 лет) и вторичного леса возрастало в среднем на 34 и 64 % по сравнению с пашней, что иллюстрирует изменение качественного состава органического вещества в ходе постагрогенной эволюции. Отмечено также существенное подкисление почвы в лесу (снижение pH в среднем в 1,5 раза) по сравнению с пашней.

Таблица

Содержание органического углерода ($C_{орг}$) и общего азота ($N_{общ}$), значение pH, скорость базального дыхания (БД) и «минерализационный потенциал» (БД/$C_{орг}$) в дерново-подзоле (0−5 см, среднее ± станд. ошибка, n = 3)

Экосистема (возраст, лет)	$C_{орг}$	$N_{общ}$	C/N	pH_{KCl}	БД, мкг С-CO_2/(г×ч)	БД/$C_{орг}$, мкг С-CO_2/(г $C_{орг}$×ч)
	г/кг					
Пашня	12,5±0,1	1,0±0,0	12,0±0,2	4,38±0,28	0,58±0,04	46,2±3,1
Залежь (20)	21,0±0,2	1,6±0,0	13,4±0,4	3,77±0,15	1,27±0,08	60,6±4,1
Залежь (25)	32,3±0,3	2,0±0,0	16,1±0,0	3,38±0,22	1,91±0,20	59,1±6,3
Лес (50)	39,3±0,9	2,0±0,1	19,7±0,3	2,91±0,13	3,33±0,33	85,0±9,8

Скорость БД почвы последовательно увеличивается в ходе постагрогенного восстановления и в лесной почве этот показатель в среднем в 5,7 раза выше, чем на пашне. Отношение БД/$C_{орг}$ также возрастает в ходе залежной сукцессии, а в почве леса его значение в среднем больше такового пашни почти на 80 %. Содержание $C_{мик}$ в почвах также увеличивается по мере восстановления пахотной почвы: это превышение по сравнению с пахотным аналогом в почвах 20- и 25-летних залежей составляет в среднем 1,9 и 3,2 раза, а в почве под лесом – 4,2 раза (рис., *а*). При этом отношение $C_{мик}/C_{орг}$ (индикатор «качества» $C_{орг}$) в почве леса превышало таковое на пашне в среднем на 40 % (рис., *б*). Наибольшая активность среди гидролитических ферментов отмечена для фосфатазы, в почве леса она в среднем в 7,6 раза выше, чем на пашне (рис., *в*).

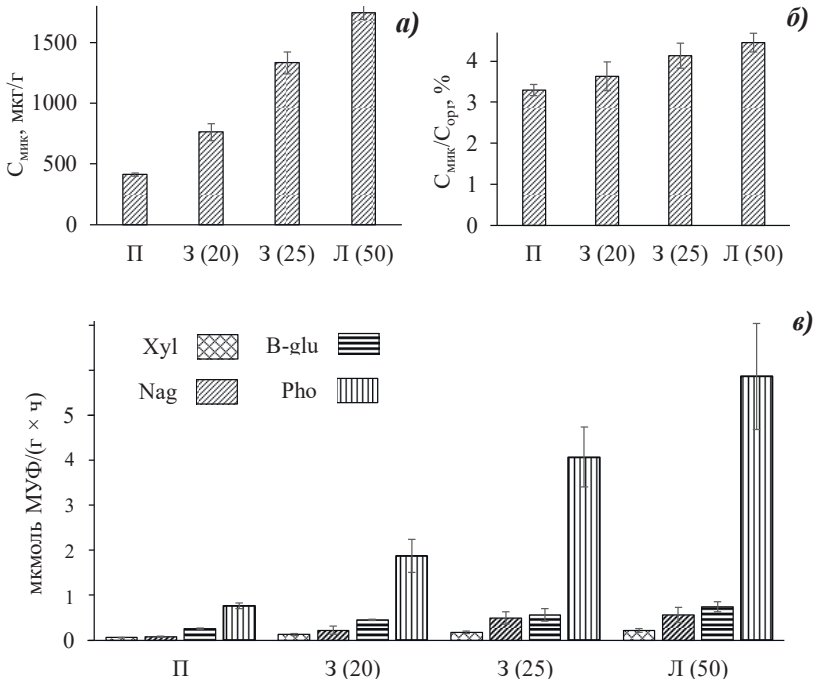


Рис. Содержание углерода микробной биомассы ($C_{мик}$, ***а***), его доля в $C_{орг}$ (***б***), активность ферментов(метилумбеллиферон, МУФ,***в***): ксиланаза (Xyl), хитиназа (Nag), бета-глюкозидаза (B-glu) и фосфотаза (Pho) в дерново-подзоле (слой 0–5 см) разных экосистем: пашня (П); залежь (З): 20, 25 лет; лес (Л, 50 лет). Среднее ± стандартная ошибка, $n = 3$

Активность ксиланазы, хитиназы, бета-глюкозидазы и фосфатазы также увеличивается по мере самовосстановления пахотных почв: в почве вторичного леса она возрастала по сравнению с пашней в среднем в 3,7, 7,1, 2,8 и 7,6 раза соответственно. Суммарная активность гидролитических ферментов дерново-

подзола в изученном хроноряду также существенно увеличивается: на залежах 20 и 25 лет по сравнению с пашней в среднем в 2,3 и 4,5 раза, а в почве леса – в 6,3 раза. Выявлены значимые ($p < 0,05$) корреляционные связи между $C_{орг}$ и БД ($r = 0,94$), $C_{орг}$ и $C_{мик}$ ($r = 0,44$), $C_{орг}$ и активность ферментов ($r = 0,78–0,87$).

Таким образом, в процессе естественного самовосстановления агродерново-подзола в почвах разновозрастных залежей и вторичного леса наблюдалось накопление основных биофильных элементов (C, N), микробной биомассы, увеличение ее дыхательной и ферментативной активности, что позволяет констатировать «улучшение» состояния почвы и ее плодородия. Такой тренд «обратного» и многолетнего преобразования может служить природоподобной технологией восстановления почвы после ее интенсивного сельскохозяйственного использования.

Работа выполнена в рамках Госзадания ФИЦ ПНЦБИ РАН (№ 126031118706-8).

Литература

1. Изменение запасов углерода, микробной и ферментативной активности агродерново-подзолов южной тайги в ходе постагрогенной эволюции / И. Н. Курганова, В. М. Телеснина, Лопес де Гереню В. О. [и др.] // Почвоведение. 2022. № 7. С. 825–842.

2. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв / Д. И. Люри, С. В. Горячкин, Н. А. Караваева [и др.] М. : ГЕОС, 2010. 415 с.

3. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia / N. D. Ananyeva, E. A. Susyan, O. V. Chernova [et al.] // Europ. J. Soil Biol. 2008. Vol. 44. P. 147–157.

4. Climate dependent mechanisms of carbon sequestration and stabilization by restoration of arable soils after abandonment / I. Kurganova, A. Merino, V. Lopes de Gerenyu [et al.] // Geoderma. 2019. Vol. 354. P. 113882.

5. Marx M-C., Wood M., Jarvis S. C. A microplate fluorometric assay for the study of enzyme diversity in soils // Soil Biol. Biochem. 2001. Vol. 33. P. 1633–1640.

MICROBIAL AND ENZYMATIC ACTIVITY OF POSTAGROGENIC ALBIC PODZOL AS AN INDICATOR OF SELF-RESTORATION

T. Yu. Volkova[1], E. S. Mitrokhina[1], A. I. Zhuravleva[1], D. A. Khoroshaev[1], V. M. Telesnina[2], I. N. Kurganova[1], N. D. Ananyeva[1]

[1]V. A. Kovda Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino

[2]M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

volktanya@yandex.ru

The study was carried out on Retic Albic Podzol (southern taiga, Kostroma region) on four plots: arable under perennial grass, 20- and 25-year-old abandoned lands, and a secondary aspen-birch forest (50 yrs old). Soil samples were collected from the upper 0−5 cm layer (3 spatial replicates). The samples were analyzed for organic carbon (C_{org}), microbial biomass carbon (C_{mic}), and total nitrogen (N) contents, basal (microbial) respiration (BR), and the activity of four hydrolytic enzymes. The C_{mic}/C_{org} and BR/C_{org} ratios were calculated, illustrating the "quality" of C_{org} and its specific microbial mineralization. It was revealed that the C_{org}, N, C_{mic}, and BR values in the forest soil increased compared to the arable by 3, 2, 4,2, and 5,7 times, respectively, The C_{mic}/C_{org} and BR/C_{org} ratios under woody vegetation increased by 40 and 80 % compared to the arable soil. The activities of xylanase, chitinase, beta-glucosidase, and phosphatase also increase during the post-agrogenic evolution: in the forest soil, they exceeded those of the arable by an average of 3,7, 7,1, 2,8, and 7,6 times, respectively. We conclude that self-restoration of arable soils leads to the "improvement" of the soil state and its fertility. This trend of "reverse" and long-term transformation can serve as a nature-like technology for soil restoration after its intensive agricultural use.

УДК 631.459.2:556.12

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Э. А. Гаевая

ФГБНУ Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет
emmaksay@inbox.ru

Эрозия почв – одна из приоритетных экологических и экономических проблем современности, приводящая к разному виду деградации земель [2]. Для оценки потерь плодородия от эрозии необходимо учитывать как фактический ущерб от деградации почв, так и экономический для разработки систем устойчивого землепользования [4].

Эрозия возникает в результате воздействия талых и ливневых вод на пашне, вызывающих сток и определяется комплексом гидрометеорологических факторов. Повышение температуры воздуха приводит к таянию снега в первую очередь на склонах южной и юго-восточной экспозиции. На склонах северной и северо-восточной экспозиций накапливается максимальное количество снега и таяние начинается в более поздние сроки. Существенное влияние на склоновый весенний сток оказывают: глубина промерзания почвы, снегозапасы и влажность пахотного слоя. Остальные факторы почти не влияют на величину стока. Запасы снега, сформированные перед весенним снеготаянием, прямого влияния на сток не оказывают, но при определенных условиях от них зависит его величина. Если глубина промерзания небольшая, то от запасов снега и влажности почвы сток не зависит. В почву просочится столько снеговой воды, сколько свободных пор в пахотном слое, объем которых зависит от степени увлажнения почвы. Излишки талой воды пойдут на сток. При большой глубине промерзании почвы и высокой степени увлажнения, в почве образуется ледяной экран, и снеговая вода идет на сток [1]. Доля талого стока в общегодовом стоке может составляет до половины всех потерь [3].

Лесные полосы снижают интенсивность весеннего и ливневого стока по сравнению с сельскохозяйственными угодьями. Для предотвращения эрозии на пашне целесообразно проводить почвозащитные мероприятия по задержанию снега: использование почвозащитных обработок почвы и севооборотов, щелевание посевов, а также приемы направление на задержание снега [5].

Исходя из выше сказанного целью данной работы явилось изучение влияния метеорологических условий периода снеготаяния (среднесуточной температуры и суммы осадков) на формирование эрозионных процессов на склоновых землях Северного Приазовья.

Полевые исследования проводили в 1990–2025 гг. в длительном полевом эксперименте на эрозионно-опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3,5–4° балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области. Опытный участок вписывается в контурно-ландшафтную систему организации

территории склона, размещение культур – полосное, направление обработки почвы и посева – поперек склона приближенно к горизонталям. Средняя ширина полос 54 м. Опыт зарегистрирован в Российской географической сети длительных опытов с удобрениями (аттестат № 169).

Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым на лёссовидном суглинке. Среднегодовой сток 20 мм (максимальный 34,4 мм). Среднегодовой смыв почвы 18,5 т/га (максимальный – 42 т/га). Смытость почвенного покрова при закладке опыта – среднесмытый. Слой весеннего стока 10 % обеспеченности – 52 мм, среднегодовой сток около 20 мм. Определение смыва и размыва почвы проводили измерением объема водороин – метод Дьякова.

Исследования проводили в двух севооборотах различной конструкции и соотношением эрозионно-устойчивых и неустойчивых культур. Контрольный севооборот включал 20 % чистого пара, 60 % – зерновых колосовых культур и 20 % – пропашных культур. Почвозащитный севооборот – 40 % – зерновых колосовых культур, 20 % – пропашных культур и 40 % – многолетних трав.

Значительное влияние на эрозионные процессы оказывают метеорологические условия периода формирования смыва почвы. Как правило, интенсивное снеготаяние начинается в конце февраля – начале марта, при наступлении положительных среднесуточных температур воздуха. Среднемноголетняя норма количества осадков за год составляет 540 мм, из них в феврале-марте выпадает 84 мм (16 %). По нашим исследованиям за 36 лет наблюдений с 1990 по 2025 г. в среднем выпадало 528 мм, что незначительно отличается от среднемноголетней нормы. Однако если весь массив данных разделить на два равных периода, то с 1990 по 2008 г. выпадает несколько больше осадков в год (588 мм на 9 % больше), а в последующий период их количество сокращается до 469 мм (на 13 %). Средние значения температуры за год по многолетним наблюдениям были равны 9,6 °С и увеличиваются от 10,0 °С в конце 90-х гг. до 11,5 °С в 20-х гг. текущего столетия. Такое неравномерное распределение количества осадков и среднесуточной температуры воздуха подтверждает нарастание засушливости климата.

Аналогичные изменения происходят и в период снеготаяния. В конце 90 х начале 2000-х гг. среднее количество осадков за два месяца периода снеготаяния превышало среднемноголетнюю норму (84 мм) на 12 % (10,0 мм), а в последующий период сумма осадков в среднем уменьшилась на 16 % (13,5 мм). Температурный режим, наоборот превышал среднемноголетние значения, что отражено на рисунке 1.

Среднесуточная температура воздуха превышала норму на 0,8 °С, к концу изучаемого периода (2008–2025 гг.) разница в температурном режиме между нормой и фактическим значением составила 1,7 °С. О чем свидетельствуют линии тренда на графике, показывающая увеличение среднесуточной температуры в сравнении с нормы и недобор количества осадков, что еще раз свидетельствует об аридизации климата. Все эти климатические изменения отразились на процессах эрозии.



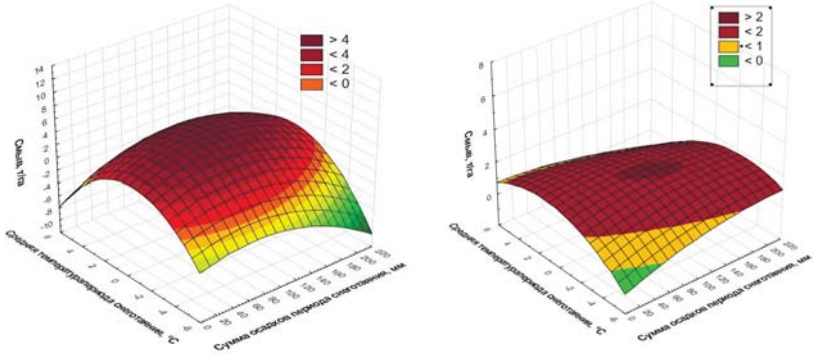
Рис. 1. Отклонение от нормы среднесуточной температуры воздуха (°С) и суммы осадков периода снеготаяния (мм)

Эрозионные процессы в большей степени зависят от нарастания температур воздуха и интенсивного снеготаяния, чем от количества снега. Поэтому мы проанализировали влияние суммы осадков и средней температуры периода снеготаяния на развитие процессов эрозии. Было выявлено влияние сумма осадков периода снеготаяния на сток талых вод (r = 0,46–0,56) и смыв почвы (r = 0,39–0,79), имеющих среднюю силу связи.

В среднем количество смытой почвы на полях, не имеющих почвозащитного комплекса, составило 18,5 т/га, максимальное количество превышало 42,0 т/га. Предельно допустимые потери почвы для Ростовской области составляют 3,0–3,5 т/га в год – это то количество почвы, которое может образоваться в течение года в естественных ценозах в пересчете на органический углерод. В результате анализа были выявлены следующие закономерности: смыв почвы зависит от осадков периода снеготаяния и от стока талых вод. Построенные зависимости подтверждают предположение, что с увеличением доли многолетних трав в севооборотах уменьшается смыв почв с 13 до 1 т/га. В полевом севообороте с 20 % чистого пара максимальный смыв почвы 12,8 т/га отмечался при стоке 45 мм, а в почвозащитном севообороте – смыв был 6,8 т/га при стоке 18 мм.

Анализ результатов исследования с использованием многомерных графиков дает большие возможности для выявления зависимостей. Были проанализированы средняя температура воздуха и сумма осадков периода снеготаяния (рисунок 2).

В севооборотах с долей многолетних трав 20–40 % отмечена прямая зависимость смыва почвы от среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков периода снеготаяния. В полевом севообороте, не имеющим почвозащитного комплекса смыв почвы может достигать 13 т/га. В среднем за годы исследования смыв почвы наблюдался в пределах 2,8–5,8 т/га с большими значениями в севообороте с чистым паром и начинался при сумме осадков периода снеготаяния от 40 до 80 мм и среднесуточной температуре воздуха 2–3 °С Максимальный смыв почвы в почвозащитном севообороте составляет 1–6,8 т/га при сумме осадков периода снеготаяния 60–100 мм и более высокой среднесуточной температуре воздуха 3–4 °С.



Полевой севооборот Почвозащитный севооборот

Рис. 2. Зависимость смыва почвы (т/га) от среднесуточной температуры воздуха (°С) и суммы осадков периода снеготаяния (мм) в севооборотах

Таким образом, в условиях Ростовской области в последние десятилетие наблюдается увеличение среднесуточной температуры воздуха на 1,7 °С и уменьшение количества осадков на 13,5 мм, что еще раз свидетельствует об аридизации климата в регионе. Применение почвозащитных севооборотов на эрозионно-опасных склонах позволяет сократить смыв почвы до безопасных пределов в севооборотах с долей многолетних трав 20–40 %. В среднем за годы исследования смыв почвы наблюдался в пределах 2,8–5,8 т/га и начинался при сумме осадков периода снеготаяния от 40 до 80 мм и среднесуточной температуре воздуха 2–3 °С. Использование почвозащитных севооборотов сокращает смыв почвы до 2,8 т/га при более высокой сумме осадков периода снеготаяния, составляющтх 60–100 мм и более высокой среднесуточной температуре воздуха периода снеготаяния 3–4 °С.

Литература

1. Барабанов А. Т. Обоснование роли и места стокорегулирующих мероприятий в борьбе с деградацией почв и опустыниванием земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1(69). С. 36–46. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-03

2. Эрозия почв при снеготаянии в агроландшафтах юга Томской области: факторы развития, интенсивность и динамика / Н. С. Евсеева, А. И. Петров, З. Н. Квасникова, М. А. Каширо, А. В. Хон // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 3. С. 196–205. DOI: 10.18799/24131830/2022/3/3407

3. Снеговое половодье в низкогорьях бассейна Верхней Оби (на примере малого водосбора р. Майма) / Л. Ф. Лубенец, Д. В. Черных, А. А. Коломейцев, С. Ю. Самойлова, Д. К. Першин // Геосферные исследования. 2022. № 4. С. 109–122. DOI: 10.17223/25421379/25/7

4. Перспективы развития экономической оценки эродированных почв / О. А. Макаров, В. В. Демидов, Д. В. Карпова, П. С. Шульга, Д. Р. Абдулханова, Е. Н. Есафова, Е. Н. Кубарев, В. И. Михайловский // Вестник Московского университета. Серия 17, Почвоведение. 2024. № 3. С. 7–18. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-7-18

5. Закономерности формирования стока и эрозии под влиянием угодий и лесных полос на южном черноземе для обоснования противоэрозионных приемов / П. Н. Проездов, Д. В. Есков, А. В. Розанов, С. В. Свиридов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. № 248. С. 160–170. DOI: 10.21266/2079-4304. 2024. 248. 160-170

FEATURES OF THE FORMATION OF EROSION PROCESSES IN THE NORTHERN AZOV REGION IN A CHANGING CLIMATE

E. A. Gaevaya
Federal agrarian scientific center of Rostov, v. Rassvet, emmaksay@inbox.ru

Field research was conducted in 1990–2025 in a long-term field experiment on the erosion-prone slope of the southeastern exposure with a steepness of up to 3.5–4 °C of the Bolshoy Log gulch in the Aksai district of the Rostov region. The analysis of the average daily air temperature and the amount of precipitation during the snowmelt period is carried out. In the Rostov region, there is an increase in the average daily air temperature by 1.7 °C and a decrease in precipitation by 13,5 mm, which once again indicates the aridization of the climate in the region. It was found that soil erosion increases with increasing precipitation during the snowmelt period and meltwater runoff. The use of soil-protective crop rotations on erosion-prone slopes with a share of perennial grasses of 20–40 % in the structure of cultivated areas reduces soil erosion to safe limits. The average amount of washed-away soil in crop rotations of various designs (2.8–5.8 t ha^{-1}) has been established. In a crop rotation with 20 % pure steam, soil flushing begins with a precipitation amount of 40 to 80 mm and an average daily air temperature of 2–3 °C. The use of soil-protective crop rotations reduces soil flushing to safe limits when the amount of precipitation during the snowmelt period is 60–100 mm and the average daily air temperature is 3–4 °C.

УДК 631.432.23

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВЛАГОЁМКОСТИ ПОЧВ

М. Г. Гетман, Е. А. Кравченко, Т. М. Минкина

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
magetman@sfedu.ru, ekakra@sfedu.ru, tminkina@mail.ru

В работе представлены результаты исследования материалов на основе композитов гидрогелевых плёнок и гидроуглей (ГГ/ГУ), полученных из древесной щепы (яблоня и ольха). Показано, что композиты демонстрируют более высокую степень водопоглощения по сравнению с чистым гидрогелем. Наилучшие показатели достигнуты для композита на основе щепы ольхи: увеличение в 3,56 раза (на 256,11 %) относительно исходных значений сухого материала. Период набухания композитов составляет 1,5 ч. Применение таких материалов позволяет оптимизировать водный режим почв в условиях дефицита влаги [4].

В условиях нарастающего дефицита пресной воды и изменения климата [6] особую актуальность приобретает разработка композитных материалов для устойчивого земледелия в аридных регионах. Одним из перспективных направлений является создание композитов на основе гидрогелей (ГГ) [3] и гидроуглей (ГУ), полученных из возобновляемого сырья – древесной щепы [1,2].

В исследовании были синтезированы и протестированы три типа материалов:

1) гидрогель на основе крахмала и лимонной кислоты;

2) композит ГГ/ГУ на основе щепы яблони;

3) композит ГГ/ГУ на основе щепы ольхи.

Ключевым параметром оценки эффективности материалов являлась степень водопоглощения, характеризующая способность материала аккумулировать и удерживать влагу.

Композит ГГ/ГУ с использованием щепы яблони продемонстрировал способность к увеличению массы сухого вещества в процессе водопоглощения в 3,42 раза, что соответствует 243,34 %. Ещё более высокие результаты были получены для композита на основе щепы ольхи: увеличение в 3,56 раза, или на 256,11 % соответственно. Этот образец показал наилучшие характеристики среди всех исследованных материалов. При этом чистый гидрогель продемонстрировал увеличение массы в 3,35 раза, что соответствует приросту на 234,94 %.

Период набухания всех исследованных образцов составил 1,5 ч. Данный факт свидетельствует о достаточно быстрой активации влагоудерживающих свойств как композитных материалов, так и чистого гидрогеля, что является важным практическим показателем при их применении в агротехнологиях [4].

Выявленные преимущества композитов по сравнению с чистым гидрогелем обусловлены эффектом взаимодействия их компонентов: гидрогель обеспечивает высокую гидрофильность материала и способность к обратимому набуханию, что напрямую влияет на его влагоудерживающие свойства, а гид-

роуголь, полученный из древесной щепы, выполняет функцию структурного каркаса, существенно повышая механическую стабильность композита и предотвращая его преждевременную деградацию в почвенном покрове.

Пористая структура гидроугля способствует более равномерному распределению влаги внутри композита. Кроме того, пористая структура создаёт благоприятные условия для развития полезной почвенной микрофлоры [5], что может дополнительно улучшать агроэкологические свойства обрабатываемых участков.

Таким образом, композитные гидрогелевые материалы на основе гидроуглей из щепы яблони и ольхи демонстрируют существенное улучшение влагоудерживающих характеристик по сравнению с чистыми гидрогелями.

Исследование выполнено при поддержке «Центра компетенций циркулярных биоматериалов» в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (СП03/S4_0708Приоритет_15)

Литература

1. Congsomjit D., Areeprasert C. Hydrochar-derived activated carbon from sugar cane bagasse employing hydrothermal carbonization and steam activation for syrup decolorization // Biomass Conversion and Biorefinery. 2021. Vol. 11, N 6. P. 2569–2584. https://doi.org/10.1007/s13399-020-00635-y

2. Effects of Process Water Recycling and Particle Sizes on Hydrothermal Carbonization of Biomass / M. Heidari, S. Salaudeen, A. Dutta, B. Acharya // Energy & Fuels. 2018. Vol. 32, N 11. P. 11576–11586. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02684

3. Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding / Z. Tariq, D. N. Iqbal, M. Rizwan, M. Ahmad, M. Faheem, M. Ahmed // RSC Adv. 2023. Vol. 13. P. 24731–24754. DOI: 10.1039/D3RA03472K

4. Исследование водно-физических свойств почвы с применением гидрогеля в Курчумском районе Восточно-Казахстанской области / Т. А. Вдовина, А. А. Винокуров, Е. А. Исакова [и др.] // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». 2020. № 3. С. 29–33.

5. Максимова Ю. Г., Щетко В. А., Максимов А. Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве // Сельскохозяйственная биология. 2023. № 1. С. 23–42.

6. Вода в растениях: регуляция функций и механизмы засухоустойчивости / В. М. Пахомова, Д. В. Пахомов, А. И. Даминова [и др.]. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2022. 444 с.

COMPOSITE MATERIALS FOR IMPROVING SOIL WATER-HOLDING CAPACITY

M. G. Getman[1], E. A. Kravchenko[1], T. M. Minkina[1]
Southern Federal University, Rostov-on-Don
magetman@sfedu.ru, ekakra@sfedu.ru, tminkina@mail.ru

The paper presents the results of a study on materials based on composites of hydrogel films and hydrochars (HG/HC), obtained from wood chips (apple tree and alder). It is shown that the composites demonstrate a higher degree of water absorption compared to pure hydrogel. The best performance was achieved for the composite based on alder wood chips: an increase of 3.56-fold (by 256.11 %) relative to the initial values of the dry material. The swelling period of the composites is 1.5 hours. The use of such materials allows optimizing the water regime of soils under moisture-deficient conditions [4].

УДК 631.4:633.34

ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ДЕСТРУКЦИЮ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В УСЛОВИЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Р. А. Горяев

Кемеровский филиал ФГБУ «Агрохимическая служба России», Кемерово
Romananatol27@rambler.ru

В процессе получения растениеводческой продукции выявляются факторы ограничивающие реальные возможности почвенного плодородия. В числе таких процессов выделяются недостаток влаги, сокращение применения минеральных и особенно органических удобрений, изменение плотности и структуры почвы и другие. К этим причинам следует отнести и проблему минерализации гумуса. Основной проблемой, по причине которой происходит потеря гумуса, выступает интенсивная обработка почвы и вынос с урожаем и побочной продукцией органической массы [1]. В отличие от природных биоценозов, где круговорот веществ замкнут в севооборотах агроэкосистем теряется большая часть питательных веществ [2]. В рассмотрении плодородия пахотных почв и применении удобрений становится ясно что применение органических удобрений снизилось в 7 и более раз чего явно недостаточно для восполнения баланса органического вещества [3]. Состав и содержание микроорганизмов в почвах существенно отличается в зависимости от типов почв и уровня антропогенного воздействия [4]. Экспериментальные данные, полученные в работах ученых, указывают на то, что бактерии и микроорганизмы интродуцированные в почву выживают, имеют возможность входить в пул доминирующих популяций и оказывают влияние на процессы трансформации растительных остатков в гумус [5].

Цель исследований: изучение влияния применения препаратов деструкторов при разной обработке на разложение растительных остатков и показатели серой лесной тяжелосуглинистой почвы и урожайность культур в условиях юга западной Сибири.

Материал и методы исследований. Влияние обработки препаратами деструкторами растительных остатков культур изучали в полевом опыте в 2022–2024 гг. на поле ИП Глава КФХ Горяев Роман Анатольевич расположенного в селе Красный Яр, Ижморского округа, Кемеровской области, представленной южной окраиной Западно-Сибирской низменности. Варианты опыта состояли из 12 вариантов из них 4 варианта контроля. Опыт трехфакторный. Фактор А – микробиологические препараты, фактор В – обработка почвы, фактор С – удобрения. Севооборот опытного участка четырехпольный: исследования проводились на культурах пшеница-горох-овес. В 2023 г. производили посев пшеницы сорта Руслада, в 2024 г. посев гороха сорта Эрби.

Таблица

Схема опыта

Обработка почвы			
Поверхностная 10–12 см		Отвальная 20–22 см	
Варианты без азота	Варианты с азотом	Варианты без азота	Варианты с азотом
Контроль	Контроль N20 кг д. в	Контроль	Контроль N20 кг д. в
Биокомпозит	Биокомпозит N20 кг д. в	Биокомпозит	Биокомпозит N20 кг д. в
Стернифаг	Стернифаг N20 кг д. в	Стернифаг	Стернифаг N20 кг д. в

Содержание органического вещества определяли фотометрическим методом в соответствии с ГОСТ 262130-2021, по градациям разработанным и утвержденным в почвоведении является повышенным – 7,66 %, содержание нитратного азота ионометрическим методом по ГОСТ 26951-86 низкое – 5,97 мг/кг, содержание фосфора низкое – 8,61мг/кг, содержание калия низкое – 15,84 мг/кг определяли по Чирикову в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26204-91, реакцию почвенного раствора определяли по Каппену в соответствии с ГОСТ 26212-91 относится к слабокислым с величиной pH – 4,9. Образцы соломы помещали в сетчатые мешочки размером 0,50×0,50 см из полипропиленовой ткани с ячейками и располагали на глубину пахотного слоя. Через 30 дней экспозиции мешочки откапывали, отмывали, высушивали, взвешивали и рассчитывали вес неразложившихся остатков. С вариантов опыта отбирали образцы почвы для проведения микробиологического анализа в течение трех раз за сезон. Для отделения растительных остатков от почвы использовали сито размером 0,25 мм. Первый отбор во время посева 14.05.2023, 16.05.2024, второй перед уборкой, 16.08.2023, 18.08.2024, третий после уборки 24.10.2023, 26.10.2024, обработки почвы, внесения удобрений. Анализ осуществляли в условиях лаборатории на средах МПА и КАА по методике Е. З. Теппер [6]. После полученных результатов вычисляли коэффициент минерализации Кмин = КАА/МПА по Е. Н. Мишустину [7]. Расчет ПМ = (МПА+КАА)(МПА/КАА) характеризующий направленность микробиологических превращений азотсодержащих соединений в органическое вещество почвы предложенный автором В. Д. Муха [8]. Площадь делянки 1440м². Повторность опыта – четырехкратная. В процессе исследования использовались препараты микробиологический Биокомпозит состоящий из консорциума микроорганизмов с титром 1·10*9 КОЕ/мл бактерии которого продуцируют ферменты, разрушающие целлюлозу и лигнин в растительных остатках. Биологический фунгицид Стернифаг на основе гриба Trichoderma harzanium, штамм ВКМ F-4099D с титром 10·10 КОЕ/г клетки которого подавляют рост фитопатогенной грибной микрофлоры, целлюлозолитический комплекс способствует разложению соломы и стерни, улучшает плодородие и структуру почвы снижая при этом нагрузку от применения химических пестицидов. Аммиачная селитра применялась в дозе 20 кг д. в/га.

Результаты исследований. В 2023 г. коэффициент трансформации органического вещества был максимальным в вариантах с применением препарата Биокомпозит на отвальной вспашке от 48,6 до 50,26, на поверхностной от

44,1 до 48,9. В варианте с применением препарата Стернифаг наибольшие показатели на поверхностной обработке от 39,89 до 45,76, на отвальной вспашке от 36,9 до 44,3. В вариантах контроля на поверхностной обработке от 30,39 до 37,7, на отвальной вспашке 19,28–21,03.

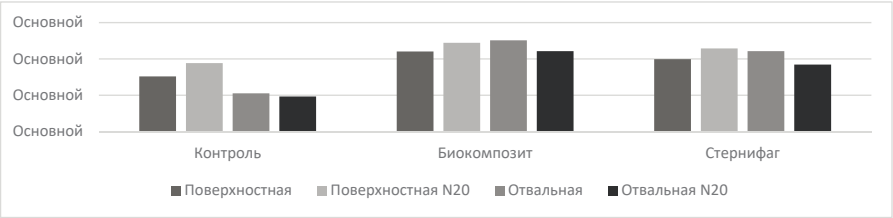


Рис. 1. Показатели коэффициента трансформации растительных остатков в органическое вещество почвы в зависимости от обработки почвы и применения деструкторов и азота (среднее 2023 г.)

В 2024 г. значение коэффициента трансформации было неоднозначно и ниже показателей 2023 г. Наибольшие значения были на отвальной вспашке с применением препарата Биокомпозит от 32,39 до 32,74, на поверхностной – от 23,75 до 25,34. В варианте с препаратом Стернифаг на поверхностной вспашке – от 20,28 до 28,38 на отвальной – от 21,72 до 24,59. Контрольные варианты были практически на одном уровне от 21,32 до 22,39 на, и до 22,31–28,85 – на поверхностной обработке.



Рис. 2. Показатели коэффициента трансформации растительных остатков в органическое вещество почвы в зависимости от обработки почвы и применения деструкторов и азота (среднее 2024 г.)

Сравнивая 2023 и 2024 гг., коэффициент трансформации органического вещества, характеризующий интенсивность разложения растительных остатков, был наиболее высоким в вариантах с применением микробиологического препарата Биокомпозит. Разница с контрольными вариантами наиболее характерно прослеживалась в 2023 г. и была наиболее существенной по всем вариантам опыта.

Заключение. Полученные в результате опыта данные свидетельствуют о том, что для повышения степени разложения растительных остатков перед заделкой в почву существует необходимость применять микробиологический препарат Биокомпозит в норме применения 3 л/га.



Рис. 3. Степень разложения растительных остатков под действием препаратов деструкторов по вариантам опыта в 2023 г.

1 – Контроль поверхностная, 2 – Контроль поверхностная N20 кг д. в. на га, 3 – Контроль отвальная,4 – Контроль N20 кг д. в. на га, 5 – Биокомпозит поверхностная, 6 – Биокомпозит поверхностная N20 кг д. в. на га, 7 – Биокомпозит отвальная, 8 – Биокомпозит отвальная N20 кг д. в. на га, 9 – Стернифаг поверхностная,10 – Стернифаг поверхностная N20 кг д. в. на га, 11 – Стернифаг отвальная,12 – Стернифаг отвальная N20 кг д. в. на га

Литература

1. Турусов В. И., Новочихин А. М. Обработка черноземов: опыт и тенденция развития// Земледелие. 2012. № 4. С. 7–9.

2. Овсянников Ю. А. Теоретические основы эколого-биосферного земледелия. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2000. 264 с.

3. Чекмарев П. А., Лукин С. В. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России // Агрохимия. 2013. № 4. С. 11–22.

4. Казеев К. Ш., Колесников С. И, Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.

5. Коростелев Л. А., Кощаев А. Г. Основы экологии микроорганизмов. СПб. : Лань, 2013. 240с.

6. Теппер Е. З. Практикм по микробиологии: Учеб. пособие для студентов вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Дрофа, 2004. 256 с. (Высшее образование).

7. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы. М. : Изд-во АН СССР, 1956. 342 с.

8. Муха В. Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов // Сб. науч. тр. Харьк. СХИ. Харьков, 1980. Т. 273. С. 13–14.

EFFECT OF MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS ON THE DESTRUCTION OF PLANT RESIDUES IN THE CONDITIONS OF SOUTH WESTERN SIBERIA

R. A. Goryaev
Kemerovo branch of the Federal State Budgetary Institution Agrochemical Service of Russia, Romananatol27@rambler.ru

The article discusses the need to use microbiological destructors to accelerate the decomposition of plant residues and provide plants with available nutrients. The article shows the effectiveness of using different types of microorganisms and their effect on the mineralization of organic matter. It also highlights the importance of introducing beneficial microorganisms to improve soil biogenicity. The research confirms that proper use of microorganisms can lead to improved soil health and increased productivity in various crops.

УДК 504.062:579.66

ОЦЕНКА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ СЕВЕРА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ДО И ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

И. Д. Гродницкая, Е. В. Порфирьева

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
igrod@ksc.krasn.ru

Загрязнение нефтью почвы при освоении нефтегазовых ресурсов является одним из наиболее значимых неблагоприятных антропогенных факторов, оказывающих негативное воздействие на экосистему. Нефть и нефтепродукты воздействуют на почвы, изменяя их биологические свойства. Действие нефти на живые организмы почвы в значительной степени определяется ее концентрацией. При низких уровнях загрязнения нефтепродуктами наблюдается положительный эффект на рост общей численности микроорганизмов и микробной биомассы, поскольку почва обогащается новым энергетическим субстратом для микроорганизмов [4]. Также при малых дозах нефть оказывает положительное воздействие на развитие растений, ввиду содержания стимулирующих их веществ. Напротив, массивное нефтезагрязнение почв ингибирует ферментативную активность, подавляет физиологические характеристики и жизнедеятельность растений, уменьшает количество микроорганизмов, наиболее чувствительных к поллютанту. Вследствие чего происходит нарушение баланса в экосистеме по причине изменения структурных и геохимических свойств почвенного покрова, а также токсического эффекта на живые организмы [3; 5].

Исследования влияния нефтяных загрязнений на почвы при практических работах по ликвидации аварийных разливов нефти позволили разработать нормативы допустимого остаточного содержания нефти в почве после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ (ДОСНП), которые в настоящее время официально утверждены в 11 субъектах РФ [1; 2]. Различия в уровнях ДОСНП в регионах не всегда коррелируют с природным потенциалом самоочищения почв в зависимости от биоклиматических условий, что, вероятно, свидетельствует о недостаточной изученности функционирования почв в условиях нефтяного загрязнения [2] Так, к настоящему моменту нет единого мнения о безопасном содержании нефти в почвах, и ПДК в них для нефтепродуктов не установлены. Особенно тревожными выглядят разливы нефти и нефтепродуктов в почвах северных регионов с экстремальными климатическими условиями.

Почвы районов севера обладают маломощным органогенным слоем и низкой интенсивностью метаболических процессов микробной деградации органического субстрата, а реакция среды отличается кислыми значениями pH. Поэтому самоочищение почв северных районов от нефтепродуктов и восстановление почвенного метаболизма идут значительно медленнее. Самовосстановле-

ние плодородия таких почв, сильно загрязненных нефтью, занимает до нескольких десятков лет.

Проблема восстановления загрязненных нефтепродуктами почв северных районов весьма актуальна. В связи с этим необходимо изучать отклик почвенных микробиомов на загрязнения нефтепродуктами и влияние их на биологическую активность почв в целом.

Целью данного исследования являлось оценить влияние разных концентраций дизельного топлива (ДТ) на микробиологическую и ферментативную активность в почвах северного типа.

Исследовали северные почвы, отобранные и доставленные сотрудниками Института леса им. В. Н. Сукачева в августе 2021 г. с территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района и г. Норильска. Район расположен за Северным полярным кругом, на полуострове Таймыр. Объектами исследований являлись образцы 4-х типов почв: криозем, глеезем, аллювиальная дерновая и подбур. Почвы были отобраны с верхнего минерального горизонта с глубины 0–10 см.

В почвенных образцах определяли влажность по ГОСТ 28268-89 и pH – потенциометрическим способом с использованием портативного потенциометра Аквилон – 410 (Россия).

В пластиковых контейнерах с почвенными образцами определяли микробиологическую (общую численность микроорганизмов (ОЧМ), состав эколого-трофических групп (ЭТГМ), микробную биомассу (МБ) и дыхание (БД)) и ферментативную активность до и после загрязнения разными концентрациями (1 г/кг, 3 г/кг, 5 г/кг) дизельного топлива (ДТ) в трех повторностях. В контейнеры с контрольными вариантами почв ДТ не вносили.

Полученные данные по ОЧМ, составу ЭТГМ, микробной биомассе, базальному дыханию, ферментативной активности, влажности и pH исследованных почв, были обработаны в программе Excel 2016. Для каждого образца почв посчитаны средние значения, проведен корреляционный анализ.

Проведенными исследованиями установлено, что до внесения ДТ реакция среды по всем типам почв была слабокислой (6,07–6,60 pH). После внесения разных концентраций ДТ значения pH во всех типах почв колебались от кислых до слабокислых, близких к нейтральным (табл.). После внесения разных концентраций ДТ наиболее высокую влажность отмечали у аллювиальной дерновой почвы при загрязнении 3 г/кг ДТ (53 %). Наименее влажными оказались контрольные образцы почвы (26,9 %) (табл.).

До внесения ДТ наибольшую общую численность микроорганизмов наблюдали у подбура и аллювиальной почвы (14,2 и 13,8 млн КОЕ/ г почвы), а наименьшую (7,4 млн КОЕ/ г почвы) – у глеезема. По степени насыщенности микроорганизмами исследуемые северные почвы распределились следующим образом: глеезем, криозем, аллювиальная дерновая почва и подбур.

Внесение разных концентраций ДТ снизило общую численность микроорганизмов (ОЧМ) от первоначальных (до внесения ДТ) значений в 1,5–5,3 раза в зависимости от типа почв (табл.). При этом при концентрации ДТ 1 г/кг отме-

чали более высокую микробную численность в подбуре и криоземе, а в аллювиальной дерновой почве и глееземе повышение концентрации ДТ увеличивало микробную численность (табл.).

Таблица

Показатели влажности, pH и микробиологические характеристики северных почв до и после внесения дизельного топлива (ДТ)

Тип почвы, конц. ДТ	Влажность, %	pH	ОЧМ, млн КОЕ/г почвы	МБ, мкг С/ г почвы	БД, мкг С-CO_2/ (г ч)
До внесения дизельного топлива (ДТ)					
Подбур	44,57	6,07	14,15	48	1,83
Криозем	18,91	6,60	11,70	59	1,68
Глеезем	108,23	6,23	7,42	73	0,99
Аллювиальная	52,44	6,17	13,78	114	1,25
После внесения дизельного топлива (ДТ)					
Подбур					
контроль	36,61	6,25	1,92	56,30	1,36
1 г/кг	34,80	6,08	2,68	23,32	1,49
3 г/кг	32,98	5,98	2,26	38,27	2,36
5 г/кг	41,64	5,97	1,91	38,10	2,28
Криозем					
контроль	11,08	6,73	1,68	70,91	1,55
1 г/кг	23,47	6,70	4,15	52,36	2,19
3 г/кг	9,97	6,65	2,93	35,87	1,87
5 г/кг	12,55	6,43	2,05	25,23	2,57
Глеезем					
контроль	26,97	6,46	2,56	53,91	1,75
1 г/кг	25,03	6,38	2,84	48,63	1,97
3 г/кг	28,70	6,27	3,13	47,15	2,06
5 г/кг	21,10	6,27	7,02	30,21	2,09
Аллювиальная дерновая					
контроль	26,93	6,51	1,16	119,16	0,84
1 г/кг	33,60	6,85	4,03	143,16	0,74
3 г/кг	53,00	6,64	10,27	97,50	1,38
5 г/кг	30,85	6,62	11,01	84,06	1,58

Анализ соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов показал, что самой многочисленной группой до внесения ДТ оказались копиотрофы (45,11–55,64 %), меньше всего было гидролитиков (7,19–23,44 %). Однако после добавления ДТ в аллювиальной дерновой почве, криоземе и глееземе произошла смена доминантной группы с копиотрофов на олиготрофов (52,60–83,89 %). В подбуре отмечали рост гидролитиков (36,16–67,51 %) в зависимости от увеличения концентрации ДТ. Для всех типов северных почв отмечено преобладание неспоровых бактерий (более 50 % от общего числа микроорганизмов).

Сравнительный анализ содержания МБ до и после внесения разных концентраций ДТ показал, что после внесения ДТ ее значения значительно уменьшились, что указывает на негативное влияние ДТ на большую часть микроорганизмов. Низкие значения МБ в глееземе и подбуре при довольно высоких значениях интенсивности базального дыхания говорят о том, что микроорганизмы в данных почвах находятся в условиях стресса из-за внесения ДТ. Также был замечен отрицательный эффект на МБ и БД в аллювиальной почве при увеличении концентрации ДТ (табл.).

Корреляционный анализ по показателям северных почв до внесения ДТ определил обратные зависимости между ОЧМ и влажностью (r = –0,67), и ОЧМ и pH (r = –0,51). После внесения ДТ найдена прямая достоверная зависимость только между МБ и pH (r = 0,57).

Исследование ферментативной активности (уреазы, инвертазы) до внесения ДТ показало ее варьирование в зависимости от типа северных почв. Наибольшую уреазную активность отмечали в подбуре (1,0 мг $N\text{-}NH_4$/г), наименьшую – в аллювиальной почве (0,8 мг $N\text{-}NH_4$/г почвы). Инвертазная активность была максимальной в аллювиальной дерновой почве и глееземе (49,5 и 45,8 мг глюкозы/г почвы соответственно), в то время как в остальных почвах активность инвертазы мало различалась между собой (39,6–40,7 мг глюкозы/г почвы). После внесения ДТ активность ферментов резко снизилась и варьировала также в зависимости от концентрации ДТ. Наименьшая активность уреазы отмечена в криоземе не зависимо от концентрации ДТ, а наибольшая – только в контроле глеезема (1. 5 мг $N\text{-}NH_4$/ г почвы). Наибольшая активность инвертазы была в контроле аллювиальной почвы, а наименьшая в глееземе при максимальной концентрации ДТ (50 и 8,8 мг глюкозы/1 г почвы). Также отмечено, что в криоземе и глееземе активность инвертазы снижалась с увеличением концентрации ДТ.

Таким образом, внесение различных доз дизельного топлива (ДТ) в северные почвы показало неоднозначное его воздействие на активность микробоценозов. Несмотря на то что после внесения ДТ общая микробная численность значительно снизилась от первоначальных (до внесения ДТ) значений в зависимости от типа почв, наименьшая концентрация ДТ (1 г/кг) менее подавляла развитие микробных сообществ в подбуре, криоземе и глееземе. В аллювиальной дерновой почве, наоборот, при более высоких концентрациях ДТ микробная численность была выше, чем в контроле и при добавлении 1 г/кг. Содержание микробной биомассы в основном снижалось, а дыхание повышалось в зависимости от увеличения концентрации ДТ. Исключение составили глеезем и аллювиальная почва, где значения МБ при внесении 1 г/кг ДТ увеличились от первоначальных (до внесения ДТ) в 1,5–1,3 раза. Ферментативная активность исследуемых почв в целом также снижалась с увеличением концентрации ДТ.

Литература

1. Бабина Ю. В. Проблемы нормирования допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в разных почвенно-экологических условиях на территории России// Географическая среда и живые системы. 2025. № 3. С. 52–66

2. Васильченко А. В., Воеводина Т. С. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 147–151.

3. Исакова Е. А. Особенности воздействия нефти и нефтепродуктов на почвенную биоту // Colloquium-journal. 2019. № 12. С. 7–10.

4. Кузнецова Т. В., Петров А. М., Хабибуллин Р. Э. Динамика микробного пула дерново-подзолистых почв при разных начальных уровнях нефтяного загрязнения // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20, № 17. С. 116–120

5. Новоселова Е. И., Киреева Н. А., Гарипова М. И. Роль ферментативной активности почв в осуществлении ею трофической функции в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Башкирского университета. 2014. Т. 19, № 2. С. 474–479.

ASSESSMENT OF SOILS MICROBIOLOGICAL ACTIVITY IN THE NORTH OF KRASNOYARSK REGION BEFORE AND AFTER EXPOSURE TO OIL PRODUCTS

I. D. Grodnitskaya, E. V. Porfirieva
Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, igrod@ksc. krasn.ru

The application of various doses of diesel fuel (DF) to northern soils revealed an ambiguous effect on the microbial community's activity. Despite the fact that after the introduction of DT, the total microbial population significantly decreased from the initial (before the introduction of DT) values depending on the soil type, the lowest concentration of DT (1 g/kg) less suppressed the development of microbial communities in podbur, cryozem and gleyzem. In alluvial soddy soil, on the contrary, at higher DF concentrations, the microbial population was higher than in the control and with the addition of 1 g/kg. The content of microbial biomass generally decreased, while respiration increased depending on the increase in DF concentration. The exceptions were gleyzem and alluvial soddy soil, where MB values with the application of 1 g/kg DF increased from the initial (before DF application) values by 1.5–1.3 times. In general, the enzymatic activity of the studied soils also decreased with increasing concentration of DT.

УДК 631.4

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЯРЕГСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В. Н. Жердева, А. В. Родикова, С. П. Кулижский, А. Д. Кабеева
Томский государственный университет, Томск, rodikovaav@mail.ru

Ярегское нефтяное месторождение расположено на территории междуречья Ижма – Ухта, Республика Коми. Технология добычи нефти в ее пределах заметно отличается от общепринятой в Российской Федерации, осуществляется она шахтным способом с закачкой горячего пара в пласт для разжижения. Как следствие, основными поллютантами на данной территории можно считать углеводороды, попадающие в почву различными путями, а также продукты пыления и размыва шахтных отвалов (терриконов) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Утечка нефти из подземного межпромыслового нефтепровода УПН «Ярега» – ПСП «Ухта» [17]

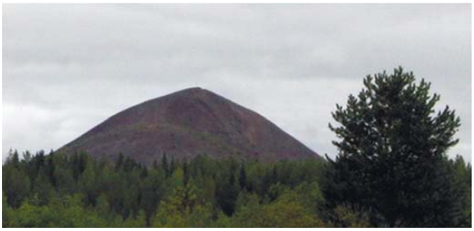


Рис. 2. Террикон Яреги [12]

Целью данной работы является изучение некоторых физических параметров почв (с акцентом на верхние нефтезагрязненные горизонты), расположенных в пределах Ярегского нефтяного месторождения.

Обследование проводилось в рамках проекта Томского государственного университета «Очистка воды и донных отложений ручья Малый Войвож от нефти и нефтепродуктов» (2020–2023 гг.).

Орографически междуречье относится к Тиманскому кряжу и представляет собой пологоувалистое, холмистое плато, расчлененное реками и ручьями. Водораздельные пространства – плоские заболоченные равнины, чередующиеся с холмистыми возвышенностями с абсолютными отметками до 140–160 м. Междуречье сложено палеозойскими породами девонского, каменноугольного и пермского возрастов, которые сверху покрыты четвертичными отложениями различной мощности. Широко распространены моренные слабо валунные суглинки, местами на глубине более одного метра встречаются карбонатные отложения. Большие площади занимают покровные (пылеватые) суглинки, в которых соли углекислого кальция могут встречаться на глубине более 4 м. [11]. По гранулометрическому составу почвообразующие породы чаще песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми отложениями [1].

Согласно природному районированию, территория исследования относится к Печоро-Вычегодскому климатическому району, подзоне средней тайги Тиманского почвенного округа. Среднегодовые температуры воздуха составляют минус 1,1°С, при амплитуде среднемесячных значений 22–23°С. Режим распределения осадков определяется циклонической деятельностью, среднее многолетнее их количество около 700 мм, из которых около 30 % приходится на холодный период года и около 70 % – на теплый. Значительные площади занимают разнообразные типы ельников на глееподзолистых, болотно-подзолистых, низкогорных лесных глееподзолистых иллювиально-гумусовых почвах; по долинам водотоков сформированы пойменные ландшафты [7; 8; 1].

Объектами исследования послужили глееподзолистая (разрез Р-2) и аллювиальные почвы (Р-1 и Р-3) (табл., рис. 3).

Таблица

Классификационная принадлежность изучаемых почв [5; 6]

Номер разреза	Наименование почв, согласно классификациям почв РФ	
	1977*	2008
Р-1	Аллювиальная луговая насыщенная слоистая обычная маломощная среднегумусная среднесуглинистая	Первичного почвообразования слаборазвитая слоисто-аллювиально-гумусовая типичная-насыщенная бескарбонатная поверхностно оглеенная, сильно гумусированная среднесуглинистая
Р-2	Глееподзолистая глубинно-глееватая сильноненасыщенная мелкоподзолистая супесчаная	Постлитогенная, элювиальная элювозем глеевый глинисто элювиированный мелкоосветленный сильноненасыщенный поверхностно оглеенный супесчаный
Р-3	Аллювиальная луговая насыщенная слоистая обычная среднемощная малогумусная супесчаная	Первичного почвообразования, слаборазвитая, слоисто-аллювиально-гумусовая типичная насыщенная бескарбонатная глубоко оглеенная, сильно гумусированная супесчаная

* – Использована в данной работе



а *б* *в*

Рис. 3. Почвенные профили изучаемых почв: *а – аллювиальная почва, Р-1, б – глееподзолистая почва, Р-2, в – аллювиальная почва, Р-3 (фото О. Э. Мерзлякова)*

Полевые и лабораторно-аналитические работы проводились согласно методам и методикам, общепринятым в почвоведении. Отбор проб для целей изучения свойств производился погоризонтно; для определения нефтезагрязнения – с глубин 0–5, 5–20 см [3]. Гранулометрический состав почв – по методу Н. А. Качинского (метод пипетки) [16]. Плотность сложения агрегатная – методом водного цилиндра [15]. Плотность сложения почв – из рассыпного образца [9]. Плотность твердой фазы почв – методом водных пикнометров [14]. Порозность общая (расчетная); порозность агрегатов –методом парафинирования [2]. Содержание нефтепродуктов выполнено в Гидрохимической лаборатории ООО «Томскгеомониторинг» (г. Томск) методом ИК-спектрометрии [13].

На момент исследования содержание нефтепродуктов в верхних горизонтах почв составляло 1312–4844 мг/кг в аллювиальных почвах и 206–2173 мг/кг в глееподзолистой, что можно оценивать как превышающие региональные нормативы [10]. Исключением является один образец глееподзолистой почвы (Р-2), отобранный с глубины 5–20 см. Фоновые значения для Республики Коми, составляющие для глееподзолистых почв 10–11 мг/кг, а для аллювиальных – 21 мг/кг (окр. Ухта) [1] превышены во всех образцах.

Показатели физического состояния почв определяются изначально гранулометрическим составом. Изучаемые объекты отнесены к среднесуглинистой (Р-1) и супесчаным (Р-2; Р-3) разновидностям. Для почвенных профилей характерна слоистость, выраженная в той или иной степени, обусловленная как динамикой современных пойменных процессов, так и древних флювиогляциальных. Даже в глееподзолистую почву (Р-2) в среднюю часть профиля включены два слоя с резким преобладанием фракций 1–0,25 мм (до 82,85 % на глубине 24–35 см). При загрязнении почв нефтью может происходить утяжеление гранулометрического состава, за счет диспергации мелких песчаных фракций, что влечет увеличение содержания мелкой пыли и ила, способствуя тем самым оглинению почвенной толщи и следственному изменению некоторых других физических параметров [4]. В изучаемых объектах содержание ЭПЧ данного размера невелико и составляет в дневных горизонтах 2,98–11,41 % и 9,18–13,12 % соответственно, а преобладающей фракцией после песчаных является крупная пыль: до 30,80 %, что соотносится с пылеватым составом почвообразующих пород территории.

От гранулометрии, оструктуренности почв, их биологического здоровья, состава зависит их плотность, которую описывают два показателя: плотность твердой фазы (син. : удельный вес) и плотность сложения почвы (син. : объемный вес). Плотность почв, особенно верхних горизонтов, – динамичная величина, в связи с чем ее часто используют для оценки их состояния при различных видах антропогенной деятельности. Например, нефтезагрязненные горизонты почв отличаются более высоким удельным и объемным весом по сравнению с целинными аналогами, что связывается с заполнением нефтью почвенных пор [4]. Изучаемые почвы характеризуются плотностью сложения верхних горизонтов, близкой к целинным [1]: 1,22–1,26 г/см^3 в аллювиальных и 0,84–1,22 г/см^3 в зональной. Невысокие показатели второй связаны с наличием значительного

количества биоморфов. Агрегатная плотность в верхней части профиля закономерно выше: 1,23–1,54 г/см^3 в аллювиальных и 0,97–1,31 г/см^3 – в глееподзолистой, поскольку исключаются межагрегатные промежутки. Плотность твердой фазы определяется вмещающим составом и колеблется в верхних горизонтах исследуемых почв в пределах 2,38–2,64 г/см^3 в аллювиальных и 2,47–2,59 г/см^3 – в глееподзолистой, что также соответствует опубликованным данным по незагрязненным объектам [1].

Описанные выше параметры определяют такое важное свойство как порозность. Значения общей порозности для загрязненных горизонтов глееподзолистой почвы составляют 52,90–65,99 %, для аллювиальных – 47,06–53,79 %, что укладывается в опубликованные сведения о естественных свойствах. Агрегатная порозность колеблется в соответствующих пределах: 50,97–45,34 % и 50,00–54,75 %.

Таким образом, текущее состояние почв по их физическим характеристикам можно оценить как удовлетворительное. Для более точной оценки необходимо проведение регулярных обследований и хронологическое сравнение описанных параметров непосредственно в обследуемых объектах.

Образцы и полевое описание изучаемых в ВКР почв предоставлены участниками проекта «Очистка воды и донных отложений ручья Малый Войвож от нефти и нефтепродуктов (01.07.2020 – 29.12.2023)», реализуемого Томским государственным университетом.

Литература

1. Атлас почв Республики Коми / под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. Сыктывкар : Коми респ. тип., 2010. 356 с. URL: https://djvu.online/file/NDxTBPweWnzFf (дата обращения: 13.05.2026).

2. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1986. 416 с.

3. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Общие требования к отбору проб: межгосударственный стандарт РФ. Дата введения 2019-01-01. М. : Стандартинформ, 2017. 3 с.

4. Досбергенов С. Н., Томина Т. К. Влияние нефтезагрязнения на физические и водно – физические свойства почв месторождения Кенкияк // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 2. С. 39–48. EDN CGXXNB.

5. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров, Е. М. Фридланд, Е. Н. Иванова [и др.]. М. : Колос, 1977. 222 с. URL: http://www.pochva.com/?content=3&book_id=0008

6. Классификация почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 2006–2016. URL: http://soils.narod.ru/index.html

7. Климатические данные городов по всему миру // Климат: Ухта. URL: https://ru.climate-data.org/

8. Мартыненко В. А. Темнохвойные леса. Гл. 4 // Леса Республики Коми / под ред. Г. М. Козубова, А. И. Таскаева. М., 1999. С. 134–139. URL: https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/ leskomi/text.pdf (дата обращения: 13.05.2026)

9. Муха В. Д.? Муха Д. В., Ачкасов А. Л. Практикум по агрономическому почвоведению : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2013. 480 с.

10. О нормативах допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Республики Коми : постановление правительства Республики Коми от 20 нояб. 2007 г. № 268 (с изм. на 11 марта 2020 г.). URL: https://docs.cntd.ru/document/424055601 (дата обращения: 11.05.2026).

11. Орографический очерк Тимана / Ф. Н. Чернышев. Петроград : Тип. М. М. Стасюлевича, 1915. 137 с. URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_004199864?page=160&rotate=0&theme=white (дата обращения: 13.05.2026)

12. Первый справочный портал Ухты. URL: http://alor.uhta24.ru/foto/foto.php?id=7645&metka=%FF%F0%E5%E3%E0 (дата обращения: 07.05.2021)

13. ПНД Ф 16.1:2.2.22–98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М., 2005.

14. Практикум по почвоведению / Н. Ф. Ганжара, Б. А. Борисов, Р. Ф. Байбеков; под ред. Н. Ф. Ганжары. М. : Агро-консалт, 2002. 280с.

15. Растворова О. Г. Физика почв. Л. : ЛГУ, 1983. 195 с.

16. Теории и методы физики почв / ред.: Шеин Е. В., Карпачевский Л. О. М. : Гриф и К, 2007. 616 с.

17. Новости // Первый справочный портал Ухты. URL: https://uhta24.ru/novost/?id=20701 (дата обращения: 07.05.2021)

18. Шеин Е. В. Курс физики почв : учебник. М. : Изд-во МГУ, 2005. 432 с.

SOME PARAMETERS OF THE PHYSICAL CONDITION OF THE SOILS OF THE YAREGA OIL FIELD

V. N. Zherdeva, A. V. Rodikova, S. P. Kulizhskiy, A. D. Kabeeva
Tomsk State University, Tomsk, rodikovaav@mail.ru

The materials present some physical parameters characterizing the current state of soils affected by oil pollution. The study area is the Yaregskoye oil field in the Komi Republic. The objects of the study were gley-podzolic (P-2) and alluvial soils (P-1, P-3). The studied objects are classified as medium loam (P-1) and sandy loam (P-2, 3) varieties; they are characterized by the density of the upper polluted horizons, close to their virgin counterparts: 1.22–1.26 g/cm3 (P-1, 3) and 0.84–1.22 g/cm3 (P-2); density aggregates: 1.23–1.54 g/cm3 (P-1, 3) and 0.97–1.31 g/cm3 (P-2); solid phase density in the range: 2.38–2.64 g/cm3 (P-1, 3) and 2.47–2.59 g/cm3 (P-2); total porosity: 52.90–65.99 % (P-2), 47.06–53.79 % (P-1, 3); aggregate porosity ranges from 50.97–45.34 % (P-2) and 50.00–54.75 % (P-1, 3). When comparing the data obtained with the published data for virgin soils, the current state of objects can be estimated by their physical characteristics as

УДК 631.416.2

СВОЙСТВА И ФОСФАТНОЕ СОСТОЯНИЕ МЕРЗЛОТНОГО СОЛОНЧАКА СОЛОНЦЕВАТОГО ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

О. Г. Захарова, А. П. Чевычелов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск
olya.choma@mail.ru, chev.soil@list.ru

Цель исследования – изучить свойства и фосфатное состояние мерзлотного солончака солонцеватого Центральной Якутии.

Объектом исследования являлся мерзлотный солончак солонцеватый, развитый на территории Якутского ботанического сада в окрестностях г. Якутск.

Климат г. Якутск характеризуется в основном как резко-континентальный, холодный и криоаридный, при этом среднегодовая температура отрицательная и составляет –10,3 ºС, среднегодовое количество осадков – 234 мм, количество осадков за вегетационный период – 158 мм, испаряемость – 502 мм, коэффициент увлажнения по Н. Н. Иванову – 0,3, коэффициент континентальности – 302 и сумма активных температур – 1565 ºС [8].

Приведем краткую географическую и морфологическую характеристику изучаемого почвенного разреза. Разрез 7БС-18 былзаложен на территории Центральной Якутии, на острове, в западине с относительным понижением около 0,5 м по направлению продолжения залива, в середине голого пятна, полностью лишённого растительности. Географические координаты: 62°01′10,1″N, 129°36′51,0″E, Н – 97,0 м. Морфологическое строение профиля: Aca,s(0–15/18) – Bca(15/18–39) – BCca(39–65) – C(65–100 см). Почва: мерзлотный солончак солонцеватый (соровый).

Мерзлотная засоленная почва (разрез 7БС-18), диагностируемая как солончак солонцеватый, формируется в плоском непроточном понижении при отсутствии какой-либо растительности на её поверхности, т. е. в условиях криогенно-выпотного водного режима, максимально способствующему внутрипочвенному и поверхностному накоплению воднорастворимых солей.

Физико-химические показатели данной почвы изучались по общепринятым в почвоведении методикам. При этом pH_{H_2O} определялся потенциометрически на иономере «Мультитест»-ИПЛ-101, гумус – по Тюрину, общий азот – по Кьельдалю, обменные катионы – по Шмуку, CO_2 карбонатов – газоволюметрическим методом, гранулометрический состав – по Качинскому [2; 7]. При обозначении почвенных генетических горизонтов руководствовались Единым государственным реестром почвенных ресурсов России [4], а диагностика и классификация почвы осуществлялись в соответствии с классификацией и диагностикой мерзлотных почв Якутии [5]. Общий фосфор определялся методом прокаливания по Сандерсу и Вильямсу, органический фосфор – по разнице общего количества Р и суммарного содержания его минеральных форм, выделяемых по методу Чанга-Джексона. Количественное определение фосфатов в данных вытяжках осуществлялось фотометрическим методом по фосфорно-молибденовой гетерополикислоте на фотоколориметре КФК-3–01 [1].

Анализ данных по физико-химическим свойствам изучаемого мерзлотного солончака солонцеватого показал, что данная почва характеризовалась сильнощелочной реакцией среды по всему профилю, высоким содержанием гумуса в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте, при этом количество гумуса в горизонте Aca,s диагностировалась как среднее и высокое (табл. 1). Также эта почва отличалась низким содержанием общего N в гумусовом горизонте (0,10 %), что, согласно известной шкале [6], позволяет оценивать обогащённость гумуса азотом как низкую и очень низкую. В составе почвенно-поглощающего комплекса абсолютно преобладали щелочноземельные катионы Ca^{+2} и Mg^{+2}, а также в гумусовой части профиля отмечалось существенное количество обменного Na^{+}, что, как правило, характеризует данную почву как солонец. Известно, что солонцеватость мерзлотных лугово-степных почв Центральной Якутии, формирующихся в условиях криоаридного климата, является фациальной особенностью данных почв [8]. Гранулометрический состав этого мерзлотного солончака характеризовался в поверхностной части профиля как средне- и тяжелосуглинистый, а в нижней – как супесчаный. Максимальное содержание свободных карбонатов отмечалось в горизонте Bca и составляло 6,6 %.

Таблица 1

Физико-химические свойства мерзлотного солончака солонцеватого Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	pH_{H_2O}	Гумус, %	N, %	C:N	Обменные катионы смоль(экв)/кг почвы			Фракции, %		CO_2 карбонатов, %
						Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	<0,001 мм	<0,01 мм	
Aca,s	0–5	9,3	8,5	0,10	49	7,2	21,6	31,2	19,7	38,7	2,7
Aca,s	5–15	9,3	5,9	0,10	34	10,3	11,4	16,8	23,7	44,4	3,7
Bca	23–33	9,2	3,4	0,05	40	8,1	7,1	1,2	18,1	41,3	6,6
BCca	45–55	9,5	0,6	0,02	17	3,0	2,8	0,8	7,0	13,3	3,2
C	80–90	9,1	0,6	0,01	35	5,0	4,9	0,7	7,2	12,8	Н. о.
	Среднее*	9,3	2,3	0,04	32	5,9	6,5	4,4	12,2	24,3	-

Примечание. Здесь и далее: *Средневзвешенное значение для почвенного профиля; н. о. не обнаружено; прочерк – значение не определено.

Содержание общего количества фосфора в пределах почвенного профиля исследуемого мерзлотного солончака солонцеватого, как правило, уменьшалось сверху вниз, следуя за убыванием гумуса и составляло 1035–1975 мг/кг. При этом в большей мере преобладали органофосфаты, средневзвешенное содержание которых составляло 949 мг/кг, т. е. 74,1 % от общего содержания фосфора.

Таблица 2

Формы фосфора в мерзлотном солончаке солонцеватом Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Общий P, мг/кг	Минеральный P		Органический P	
			мг/кг	%	мг/кг	%
Aca,s	0–5	1810	652	36,0	1158	64,0
Aca,s	5–15	1975	554	28,1	1421	71,9
Bca	23–33	1105	158	14,3	947	85,7
BCca	45–55	1035	264	25,5	771	74,5
C	80–90	1270	392	30,9	878	69,1
	Среднее*	1293	344	25,9	949	74,1

Максимальное относительное содержание рыхлосвязанных фосфатов в изучаемой мерзлотной почве отмечалось в верхнем почвенном горизонте Aca,s и составляло 15,5 %, а минимальное – в горизонте BCca и было равно 3,4 % (табл. 3). Общее количество фосфатов полуторных оксидов изменялось значительно, причем, фосфаты железа относительно преобладали над фосфатами алюминия, за исключением гор. Bca и BCca. Было выявлено очень вариабельное абсолютное и относительное количество Fe-P, которое составляет соответственно 6–320 мг/кг почвы или 3,8–57,8 %. Анализ средневзвешенного содержания минеральных фосфатов показал, что преобладающей фракцией в исследуемом мерзлотном солончаке солонцеватом являлись фосфаты кальция (132 мг/кг). Это согласуется с установленным положением о преобладающем содержании данной фракции в солонцах и солончаках [3]. При этом максимальное содержание Ca-P наблюдалось в гор. BCca (182 мг/кг). Содержание окклюдированных Al-P в данной мерзлотной почве изменялось от 5 до 15 мг/кг почвы, при этом наибольшее количество этой фракции было обнаружено в гор. C. В этом же горизонте отмечалось максимальное содержание, недоступных для растений, окклюдированных Al(Fe)-P и составляло 10,7 %.

Таблица 3

Фракции минеральных фосфатов в мерзлотном солончаке солонцеватом Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Фракции минеральных фосфатов						
		Рыхло-связанные	Al-P	Fe-P	Ca-P	Оккл. Al-P	Оккл. Al(Fe)-P	Сумма
Aca,s	0–5	101*	126	295	86	9	35	652
		15,5	19,3	45,2	13,2	1,4	5,4	100
Aca,s	5–15	30	102	320	63	5	34	554
		5,4	18,4	57,8	11,4	0,9	6,1	100
Bca	23–33	22	17	6	89	5	19	158
		13,9	10,8	3,8	56,3	3,2	12,0	100
BCca	45–55	9	25	12	182	5	31	264
		3,4	9,6	4,5	68,9	1,9	11,7	100
C	80–90	15	72	95	153	15	42	392
	Среднее*	3,8	18,4	24,3	39,0	3,8	10,7	100
		21	55	94	132	9	33	344

Примечание. *Над чертой – мг/кг, под чертой – в % от суммы всех фракций.

Общая сумма всех фракций минеральных фосфатов в исследуемом мерзлотном солончаке солонцеватом изменялась от 392 до 652 мг/кг почвы, при этом максимальное содержание данных минеральных фосфатов было выявлено в поверхностном гумусово-аккумулятивном горизонте Aca,s, а минимальное – в иллювиально-карбонатном горизонте Bca.

Таким образом, исследуемый мерзлотный солончак солонцеватый Центральной Якутии отличался сильнощелочной реакцией среды по всему профилю, высоким содержанием гумуса, низким содержанием общего N в гумусовом горизонте, наличием в составе ППК щелочноземельных катионов Ca^{+2} и Mg^{+2}, а также существенным содержанием в гумусовой части профиля обменного Na^{+}.

Гранулометрический состав данной мерзлотной почвы характеризовался в поверхностной части профиля как средне- и тяжелосуглинистый, а в нижней – как супесчаный. В составе фосфора мерзлотного солончака солонцеватого абсолютно преобладали органофосфаты, средневзвешенное содержание которых составляло 949 мг/кг, т. е. 74,1 % от общего содержания фосфора. А в фракционном составе минеральных фосфатов, как правило, преобладали фосфаты кальция, средневзвешенное количество которых составляло 132 мг/кг.

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв. М. : Наука, 1975. 656 с.
2. Воробьёва Л. А. Химический анализ почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
3. Гинзбург К. Е. Фосфор основных типов почв СССР. М. : Наука, 1981. 241 с.
4. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. 768 с.
5. Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
6. Орлов Д. С., Лозанская И. Н., Попов П. Д. Органическое вещество почв и органические удобрения. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1985. 98 с.
7. Практикум по почвоведению / Под. ред. И. С. Кауричева. М. : Колос, 1980. 272 с.
8. Чевычелов А. П., Скрыбыкина В. П., Васильева Т. И. Географо-генетичекие особенности формирования состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.

PROPERTIES AND PHOSPHATE STATE OF PERMAFROST SALINE SALT FLATS OF CENTRAL YAKUTIA

O. G. Zakharova, A. P. Chevychelov
Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS
olya.choma@mail.ru, chev.soil@list.ru

For the first time, the properties and phosphate status of the permafrost saline-sodic soil of Central Yakutia have been studied and evaluated. This permafrost soil is located on the territory of the Yakut Botanical Garden and is formed in a flat, non-flowing depression with no vegetation on its surface. The morphological structure of the profile is as follows: Aca,s(0–15/18) – Bca(15/18–39) – BCca(39–65) – C(65–100 cm). The studied permafrost saline-sodic soil has a strongly alkaline reaction throughout the profile, a high humus content, a low total N content in the humus horizon, the presence of alkaline-earth cations Ca^{+2} and Mg^{+2} in the PPC, and a significant content of exchangeable Na^{+} in the humus part of the profile. In the composition of permafrostsaline-sodic soil phosphorus, organophosphates were absolutely predominant, with an average weighted content of 949 mg/kg, i. e. 74,1 % of the total phosphorus content. And in the fractional composition of mineral phosphates, calcium phosphates were generally predominant. The fractional composition of mineral phosphates was usually dominated by calcium phosphates, with an average weighted content of 132 mg/kg.

УДК 631.4

ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВА РОССИИ В ФОРМИРОВАНИИ ПАТРИОТИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ

Т. А. Зубкова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Москва, dusy.taz@mail.ru

Почвенно-растительное пространство – это среда, в которой взаимодействуют почва и растительность, при этом между ними существует взаимосвязь, которая влияет на функционирование экосистем. Почва служит жизненным пространством не только для растений, также животных, микроорганизмов и человека. Причем, растения живут одновременно в двух средах: в наземно-воздушной и почвенной. Почва снабжает их водой и питательными элементами, регулирует рост и развитие растений, объем и качество урожая. Почвенно-растительные пространства – это данность природы. Они обусловлены климатом, рельефом и образуют природные зоны (рис.).

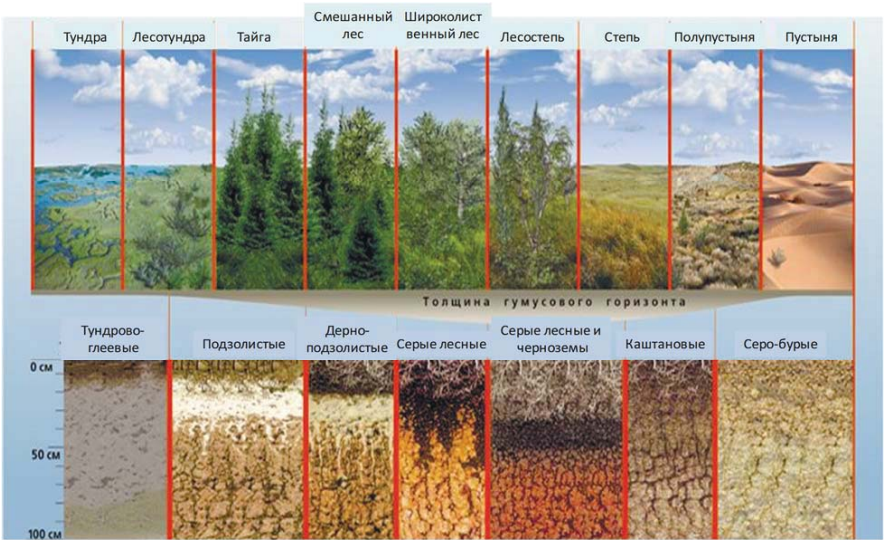


Рис. Сопряженность почв и растительности России

А различные сферы общества построил сам человек для удобства своего проживания, и в соответствии с особенностями почвенно-растительного пространства.

В ***содержании патриотизма*** отражаются с одной стороны естественная привязанность человека к родной земле, и с другой стороны – социально-политические, экономические, культурные и религиозные особенности общества. Это означает, что основой, рождающей и питающей патриотизм, является в первую очередь земля, родной край, т. е. почвенно-растительное пространство. И уже потом, по прошествии нескольких десятков-сотен лет, когда сформировано общество со своими духовными и культурными ценностями, экономической и политической инфраструктурой, то уже и они оказывают влияние на патриотические чувства населения, что и отражается в эволюции патриотизма. Так, в древних обществах патриотизм связывался с почитанием родной земли, в Средние века тесно переплетался с религией. Для современных наций идеи формирования национальной идентичности, культуры, традиций стали центральными. Современный патриотизм также эволюционирует, поскольку формируется в новых условиях глобализации и миграции. Однако постоянной остается связь патриотизма с естественной привязанностью к родной земле.

Потребление, комфорт и патриотизм. На современном этапе развития цивилизации, происходит глобальная интеграция и взаимодействие между различными странами и культурами, а также производство и накопление материальных благ. Комфортные условия проживания людей могут быть достигнуты практически в любой точке не только отдельного государства, но и всего мира. На первый план у людей выходят потребление и комфорт. Процессы глобализации и перепотребления [3] ведут к утрате патриотических чувств и привязанности к родному краю, к оттоку населения и как следствие – ослаблению защищенности государства. В истории нашей страны есть и другие примеры, когда правительство помогало крестьянам в ведении хозяйства, в освоении новых земель и способствовало переселению их на азиатские окраины России, тем самым укрепляя обширные государственные границы [2].

Если появилась возможность обустроиться в любой точке планеты, так может и не нужен патриотизм вовсе? Но реальные события привели к противоположному выводу – патриотизм просто необходим для выживания народов и государства, для сохранения и развития культуры, экономики, национальной идентичности и гражданских свобод.

Патриотическое воспитание прививается с самого раннего возраста. Выделяют дошкольное воспитание, средние и старшие классы, студенчество. Для каждого периода взросления эффективны различные методы воспитания. Если для младших школьников внимание уделяется знакомству с родным краем, то для старшеклассников включаются и социально-исторические и культурные подходы. Ассоциации детства отражены в хорошо известных песнях о родном крае:

Стихотворение В. Н. Орлова «Родное»	*Слова М. Матусовского в песне «С чего начинается Родина»*	*Песня «Наш край» на слова А. Пришельца*
«Я узнал, что у меня Есть огромная родня:	«…С чего начинается Родина? С заветной скамьи у ворот,	«То березка, то рябина, Куст ракиты над рекой.

И тропинка,
И лесок,
В поле – каждый
Колосок,
Речка,
Небо надо мною –
Это все мое, родное!»

С той самой березки, что во поле,
Под ветром склоняясь, растет.
А может, она начинается
С весенней запевки скворца
И с этой дороги проселочной,
Которой не видно конца…».

Край родной, навек любимый,
Где найдешь еще такой!..»

Дети вырастают с любовью к своему дому, краю, но развивается ли с ними и сам край? Происходят ли изменения в окружающей среде? Нередко бывает наоборот – изменений не происходит. Например, распаханные поля, засеянные пшеницей, приобретают образ заброшенных земель с сорной растительностью. В деревнях шоссе так и не проложили, тротуаров нет, а луга и тропинка к местному водоему превратились в территории нерегулируемого выпаса крупного рогатого скота и овец. Причем, такие нарушенные выпасом территории тесно связаны с активностью мигрантов азиатского происхождения. Где здесь родная земля с лугами и полями, с березками и рябинами? Поэтому не удивительно, что воспоминания о родной земле, с детства подпитывающие патриотические чувства, сглаживаются и затираются. Выход есть – необходимо улучшать окружающую среду, т. е. преобразовывать почвенно-растительное пространство, например, в стилях ландшафтного дизайна. Тогда ландшафт будет эстетически и функционально привлекателен.

Методы и направления развития патриотизма у молодежи более разнообразны и направлены на формирование исторического сознания, гражданской ответственности, развития критического мышления, знакомство с культурным наследием и традициями [4]. Однако нет однозначного мнения о наиболее действенных методах формирования патриотизма. Игры и конкурсы, рассказы об истории, экскурсии, патриотические мероприятия, дискуссии и беседы, личный пример педагога – что эффективнее?

Эффективен ***труд***, не на благо кого-то отдаленного, а на благо себя лично и своей общности, когда пользоваться результатом смогут все желающие. В этом случае будет и мотивация и желание преобразовывать окружающую среду. Труд – один из наиболее эффективных способов воспитания патриотизма не только у детей, но и у взрослых.

Одна из форм патриотизма – ***Агропатриотизм.*** Это проявление любви к Родине через профессиональную деятельность – земледелие. В России в последние годы растет спрос на специалистов аграрных специальностей. Работников в сельском хозяйстве недостаточно и не только из-за невысокой оплаты труда, но главное – эта отрасль характеризуется тяжелым ручным трудом [5].

Забота о почвенно-растительном пространстве окружающей среды тесно переплетена с культурно-историческими подходами воспитания патриотических чувств. ***Научный совет РАН по изучению и охране культурного и природного наследия*** руководствуется принципом неделимости культурного и природного наследия: сохранение среды обитания органически связано с задачами защиты культуры от разрушения и деградации, с воспитанием в чело-

веке патриотизма и ответственности за состояние духовной и природной среды, ведь будущее России связано не только с ее богатейшими, природными богатствами, но и с ее огромным культурным, интеллектуальным, духовным потенциалом [1]. Поэтому патриотическое воспитание и экологическое образование идут рядом. Это две стороны одного и того же процесса – развития народов и защищенности государства.

В 2025 г. Президент России поддержал одну из инициатив – создание национального плана «Приумножение природы», который призван развивать новые подходы к оценке состояния природных экосистем и их восстановления. Главное – это рациональное и разумное сочетание экологического и экономического подхода для оценки экосистемных услуг и потребностей общества, а также потенциальных и реальных возможностей природы.

Заключение. В современном мире глобализации и перепотребления в условиях доступности информации, культурных и материальных ценностей во всех уголках земли, рассматривать патриотизм только как общественно-историческое явление недостаточно. Необходимо учитывать существование природных, почвенно-растительных основ патриотизма и преобразовывать их в соответствии с запросами общества, не утрачивая привлекательности родной земли.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М. В. Ломоносова (тема № 121040800146-3).

Литература

1. Добровольский Г. В., Челышев Е. П. Сохраняя великое наследие: к 20-летию со дня учреждения Научного совета РАН по изучению и охране культурного и природного наследия // Пространство и время. 2012. № 2(8). С. 11–16.

2. Зубкова Т. А. Почвы и земля как факторы формирования образа Родины и Отечества. Soil and earth as factors for forming the image of the motherland and fatherland // Образ Родины: содержание, формирование, актуализация : материалы IX Междунар. науч. конф. Москва 18–19 апр. 2025 г. В 3 т. Т. 1. М. : МХПИ. 2025. С. 277–286.

3. Медоуз Д. «Устойчивого развития достичь не удастся… И пора задуматься о том, как жить в фазе упадка, а не роста». Интервью Н. Тарасовой с Д. Медоузом 5 марта 2022 г. URL: https://naked-science.ru/article/interview/ustojchivogo-razvitiya-dostich-ne-udastsyaupadka-a-ne-rosta

4. Прохоренко К. Д. Развитие патриотизма у молодёжи // Актуальные исследования. 2024. № 41 (223), ч. 1. С. 70–77.

5. Турк С. Н., Поздеев И. А., Платонов К. Е. Агропатриотизм молодежи – основа успешного сельского хозяйства в России // The scientific heritage. 2021. N 76. P. 51–54.

SOIL AND VEGETATION SPACES OF RUSSIA IN THE FORMATION OF ECOLOGICAL AND PATRIOTIC CONSCIOUSNESS

T. A. Zubkova
Lomonosov Moscow State University, Moscow, dusy.taz@mail.ru

In today's world of globalization and overconsumption, viewing patriotism solely as a socio-historical phenomenon is insufficient. It is necessary to consider the natural, soil-based, and plant-based foundations of patriotism and transform the environment to meet societal demands without losing the appeal of one's homeland.

УДК 631.4

МОРФОАНАЛТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИПСОВОГО РУДНИКА, ЮЖНОЕ ПРИАНГАРЬЕ

Н. Д. Киселева, В. Д. Николаева, А. Л. Прокопенко

Иркутский государственный университет, Иркутск
nata_kis71@list.ru

Почва является неотъемлемой составляющей экосистем и играет значительную роль в экологической обстановке. Являясь важным компонентом биосферы, почвы, сформированные в зонах антропогенной нагрузки, могут приобретать специфические особенности и свойства из-за воздействия техногенных факторов, связанных с промышленной деятельностью. Это воздействие зачастую негативно влияет на почвенные экосистемы, приводя к их загрязнению вредными веществами, снижению плодородия почвы и другим отрицательным последствиям.

Добыча полезных ископаемых, включая гипс, причиняет значительный ущерб рельефу, почвенному покрову и подземным водам. Запасы гипса в мире оцениваются в миллиарды тонн, при этом Россия занимает лидирующую позицию по объему разведанных месторождений. Гипсовые месторождения распространены по всей территории страны, одним из значимых является Заларинское месторождение, разрабатываемое ООО «КНАУФ ГИПС БАЙКАЛ». Открытая добыча гипса приводит к нарушению ландшафта и загрязнению окружающей среды. Эксплуатация карьеров связана с интенсивным использованием земель и формированием расчлененного рельефа с большими перепадами высот. Нарушение земель происходит в результате создания карьеров, отвалов, дорог и других объектов, связанных с горными работами [1].

Разработка и добыча полезных ископаемых гипса являются одним из факторов техногенного влияния на почвенный покров. Чаще всего для данных работ используется именно открытый способ добычи в силу своей экономической доступности и меньшей опасности для персонала, нежели подземные разработки. Но, не смотря на плюсы данного способа его воздействие на почвенный покров является довольно значительным и имеет ряд недостатков, среди которых нарушение земной поверхности, выбросы пыли и газов в атмосферу, загрязнение вод и почв и т. д. [1]. Добыча гипсового минерала открытым способом может оказывать значительное техногенное воздействие на почвенный покров. Это воздействие может быть обусловлено пылением, эрозией отвалов, а также увеличением содержания растворимых форм гипса в почвенном профиле. В совокупности с другими с почвообразующими факторами это способствует формированию гипсоносных и гипсосодержащих почв [2].

Формирование почв в данном районе тесно связано с процессами выветривания и последующим переотложением осадочных пород кембрийского периода, (верхоленская свита). Эти отложения формировались в мелких морях и ла-

гунах в условиях жаркого климата и отсутствия растительности на прибрежных территориях. Верхнекембрийские отложения представлены красноцветными алевролитами и аргиллитами, содержащими карбонаты и, иногда, гипс. Гипсоносные отложения, представлены осадками аллювиального и частично делювиального происхождения, суглинками с линзами супесей. Их пласты залегают среди мергелистых аргиллитов верхнего кембрия мощностью 0,1 – 3 м. Засолению почв в долинах рек способствуют выщелачиваемые из этих отложений соли. Накопление солей происходит в процессе выветривания, когда они сносимые со склонов, накапливаются в понижениях рельефа [4]. Помимо пород, важную роль в аккумуляции гипса в почвах Нукутского района играют климатические факторы, особенности рельефа и гидрологические условия. Ключевой особенностью климата является недостаточное количество осадков и превышение испаряемости над увлажнением, что обусловливает преобладание выпотного водного режим [2]. Территория района исследования представляет собой слабоволнистую равнину. Общий характер рельефа холмисто-увалисто-равнинный Волнистость обусловлена наличием невысоких увалов и грив, обычно с широкой ровной вершиной и пологими склонами. Обширная поверхность территории исследования подвержена действию водной и ветровой эрозии. Эрозия приводит к смыву и выдуванию почвенного слоя, обеднению и ухудшению качества земель. Важно отметить, что в данных условиях рельефа питательная часть грунта сносится со склонов в долины, где подвергается действию засоленных водных потоков и в существенной степени выбывает из использования. Прибрежные зоны рек характеризуются наличием долинно-балочных систем протяженностью 1,5–9,0 км. В отложениях древних долин формируются вторичные донные овраги, развитие которых связано с легко размываемыми покровными суглинками (мощность 8–10 м и более). [4].

Территория исследования относится среднесибирской лесостепной провинции. Нукутский район, расположенный на юго-западе Иркутской области и входящий в Усть-Ордынский Бурятский округ. Особенности распространения почв на данной территории обусловлены рядом факторов, включая геологическое строение, климат, растительность и рельеф местности. На территории распространены черноземы, они занимают пологие ЮВ склоны водораздела со степной растительностью. В пониженных элементах рельефа находятся лугово-черноземные почвы. На крутых склонах под хвойной растительностью залегают подзолистые почвы, а под смешанными лесами серые. В пойме реки Залари из-за близкого контакта с засоленными водами образовались аллювиальные засолённые почвы [2].

В качестве объектов исследования были выбраны почвы техногенных ландшафтов, Новонукутского гипсового рудника. В рамках проведения исследования, было заложено четыре почвенных разреза на разных элементах рельефа и с разной подверженностью антропогенному влиянию. При полевом описании были даны следующие типологические названия и формулы почвенных профилей: Разрез № 1 –чернозем глинисто-иллювиальный с погребенным гумусовым горизонтом (AU-(AU-BI)-BI-AU[hh]-BC); Разрез № 2 – Бурозем темный

остаточно-карбонатный (AU1-AU2-BMca1-BMca2-Cca); Разрез № 3 – аллювиальная серогумусовая засоленная остаточно-карбонатная гипсосодержащая (AYs,cs-Cs,cs-Cca,cs); Разрез № 4 – антропогенно-рекультивированная засоленная остаточно-карбонатная (Cca-(AU-BM)ca,s-AUs-Cca,s-Cs). При исследовании применялись общепринятые в почвоведении методы исследования (морфологический, мезоморфологичексий, сравнительно-географический, физико-химические методы, математический анализ – диаграмма размаха (box plot)).

С целью оценки влияния техногенного воздействия исследованы две группы почв: подверженные сильному техногенному воздействию (аллювиальная серогумусовая засоленная остаточно-карбонатная гипсосодержащая и антропогенно-рекультивированная засоленная остаточно-карбонатная) и естественные почвы, которые подвергались данному воздействию в меньшей степени (чернозем глинисто-иллювиальный с погребенным гумусовым горизонтом и бурозем темный остаточно-карбонатный).

При морфологическом и мезоморфологичексом анализе основными отличительными особенностями выступают следующие моменты: В профиле почв, которые подвергаются техногенному воздействию (разрезы № 3, 4), преобладают более светлые – серые или серовато – коричневые тона в окраске, что может свидетельствовать о более низком уровне гумусированности в сравнении с не нарушенными почвами (разрезы № 1, 2); Анализируя данные мезоморфологического описания, можно заметить некоторые различия в аккумуляции минеральных новообразований между нарушенными и естественными почвами.

В зависимости от глубины почвенного профиля в изучаемых техногенно-нарушенных почвах аккумулируются разные по форме минеральные новообразования: для верхней части профиля характерны налеты, пятна, примазки и выцветы солей с поверхности почвенного профиля; для срединной конкреции и новообразования, представленные кристаллическими скоплениями; для нижней части профиля характерны прожилки и налеты.

В естественных почвах наблюдается характерный для данных типов почв процесс накопления минеральных новообразований. В верхних горизонтах бурозема темного аккумулируются пятна и налёты, а на глубине от 20 до 50 см происходит интенсивное накопление карбонатного псевдомицелия.

В результате рекультивации почв, расположенных близ карьера для добычи гипса, произошли значительные изменения в структуре и плотности почвенного профиля. Рассматривая некоторые морфологические особенности антропогенно-рекультивированной почвы, можно сделать вывод о том, что после проведения рекультивации в почвенном профиле произошли изменения естественной структуры и плотности сложения почвы, верхние горизонты (Cca,(AU-BM)ca,s) турбированны, а срединный горизонт (AUs) отличается повышенной плотностью в сравнении с другими почвенными горизонтами.

Для визуализации распределения электропроводности, содержания гипса и карбонатов в изучаемых почвах был применен метод описательной статистики, в частности, построены диаграммы размаха (box plot).

Удельная электрическая проводимость (УЭП): диаграмма (рисунок) показывает электропроводность (УЭП) в мСм/см для четырех исследуемых типов почв: антропогенно-рекультивированной засоленной остаточно-карбонатной, аллювиальной серогумусовой засоленной остаточно-карбонатной гипсосодержащей, бурозема темного остаточно-карбонатного и чернозема глинисто-иллювиированного с погребенным гумусовым горизонтом. Визуально заметны значительные различия в электропроводности между этими типами почв. Диаграммы размаха отображают медиану, межквартильный размах и выбросы для каждого типа почвы, что позволяет оценить не только средние значения, но и вариативность данных. Антропогенно-рекультивированная почва демонстрирует самую высокую электропроводность и наибольший разброс значений. Медиана находится на уровне около 2,5 мСм/см. Присутствуют как низкие значения (около 0,2 мСм/см), так и очень высокие (до 5,5 мСм/см). Это может указывать на неоднородность состава рекультивированной почвы. Электропроводность аллювиальной почвы значительно ниже, чем у антропогенно-рекультивированной, но выше, чем у бурозёма и чернозёма. Разброс значений довольно узкий, что говорит об относительно стабильных значениях электропроводности в разных горизонтах. Медиана находится на уровне около 2,2 мСм/см. Электропроводность бурозема и чернозема очень низкая и близка друг к другу. Разброс значений также небольшой, что говорит о стабильных значениях электропроводности в этих типах почв. Медиана составляет около 0,2 мСм/см. Низкая электропроводность этих почв подтверждает низкое содержание растворимых солей. В исследуемых естественных (бурозем, чернозем) и нарушенных (антропогенно-рекультивированная и аллювиальная) почвах, наглядно демонстрируются различия в электропроовдности и как следствии засоления этих почв, что может свидетельствовать о влиянии техногенного воздействия на свойства почв.

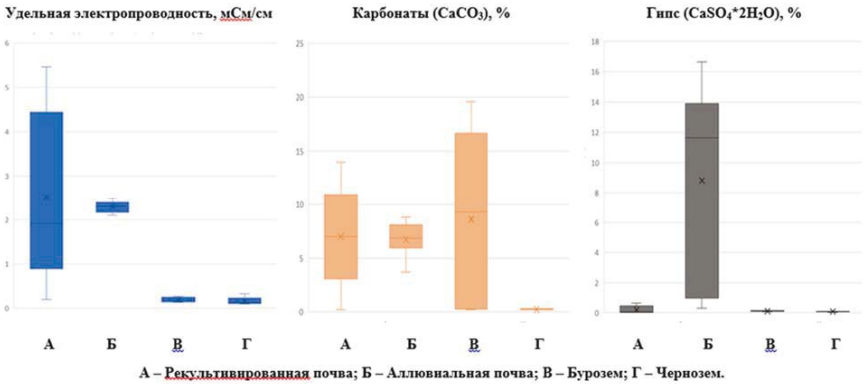


Рис. Распределение содержания химических показателей в исследуемых типах почв. Диаграммы размаха (box plot) отображают медиану (горизонтальная линия внутри «ящика»), межквартильный размах (граница «ящика») и диапазон значений (усики). Знаком ‘x’ обозначено среднее арифметическое значение

Карбонаты ($CaCO_3$), %. На диаграмме распределение содержания карбоната кальция ($CaCO_3$) в рассматриваемых типах почв (рисунок) заметны существенные различия. Бурозем темный остаточно-карбонатный отличается самым высоким содержанием карбонатов в профиле. Медиана находится в районе 9 %, а разброс значений довольно большой (от почти 0 % до примерно 20 %), это может свидетельствовать о том, что количество карбонатов в профиле бурозема колеблется от низких содержаний в верхних горизонтах, до высоких в средних и нижних. В антропогенно-рекультивированной почве содержание $CaCO_3$ варьируется в широком диапазоне (от почти 0 % до примерно 14 %), однако медиана находится в районе 7 %, что немного ниже, чем в буроземе. Значительный разброс указывает на неоднородность рекультивированной почвы по содержанию карбонатов, это может быть связано с процессом перемещения почвенных горизонтов в процессе рекультивации. В аллювиальной почве содержание $CaCO_3$ относительно стабильно, медиана составляет около 6 %. Разброс значений небольшой, что говорит об однородности содержания карбонатов в этом типе почвы. Аллювиальные отложения обычно характеризуются сравнительно равномерным распределением минерального состава, что отражается и на содержании $CaCO_3$. Чернозем глинисто-иллювиальный характеризуется очень низким содержанием $CaCO_3$ (медиана и среднее значение около 0 %). Разброс значений также очень мал, что указывает на то, что содержание $CaCO_3$ в черноземе практически отсутствует. Вероятной причиной дефицита $CaCO_3$ может быть более интенсивный промывной режим, обусловленный расположением чернозема в нижней части склона. Вследствие этого, усиленный сток атмосферных осадков способствует вымыванию карбонатов в нижележащие горизонты почвенного профиля.

Гипс ($CaSO_4*2H_2O$), %. Анализ диаграммы содержания гипса в исследуемых почвах (рисунок) выявил значительные различия в его содержании. Аллювиальная почва явно выделяется высоким содержанием гипса. Медиана находится в районе 12 %, а разброс значений значительный, от примерно 1 % до 17 %. Вероятно, источником гипса являются отложения, принесённые рекой. В антропогенно-рекультивированной почве содержание гипса очень низкое, но немного выше, чем в буроземе и черноземе. Медиана составляет около 0,1 %, а разброс значений небольшой (от 0 % до примерно 1 %). Такое низкое содержание гипса, может быть обусловлено особенностями генезиса и минерального состава данной почвы. Бурозем и черноземхарактеризуются крайне низким содержанием гипса. Медиана и среднее значение находятся около 0 %. Разброс значений также минимален, что говорит о практически полном отсутствии гипса в этих типах почв.

Проведенный анализ электропроводности, содержания карбонатов ($CaCO_3$) и гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) в исследуемых почвах выявил существенные различия, обусловленные как природными факторами, так и техногенным воздействием. Высокая электропроводность антропогенно-рекультивированной почвы, несмотря на низкое содержание гипса, указывает на присутствие других растворимых солей. В аллювиальной почве, напротив, электропровод-

ность, вероятно, в значительной степени обусловлена высоким содержанием гипса. Бурозем, несмотря на высокое содержание карбонатов, характеризуется низкой электропроводностью, что связано с их преимущественно нерастворимой формой. Чернозем, сформировавшийся в условиях достаточного увлажнения, демонстрирует низкие значения по всем трем показателям вследствие влияния более сильного промывного режима.

Литература

1. Киселева Н. Д., Ломовцева Д. Д., Сташкевич А. С. Использование почвенного покрова Нукутского района Иркутской области (Южное Приангарье) // Материалы по изучению русских почв. Вып. 12(39) : сб. науч. докл. СПб., 2020. С 74–79.

2. Киселева Н. Д., Лопатовская О. Г. Особенности профильного распределения гипса в некоторых почвах Приангарья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2010. № 9. С. 17–22.

3. Лопатовская О. Г. Киселева Н. Д. Проблеммы классификации дерново-карбонатных гипсоносных почв Предбайкалья // Современные проблеммы науки и образования. 2016. № 1. С59 –

4. Южное Приангарье: особенности почвообразования на разновозрастных породах : Путеводитель экскурсии к конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения ИГУ / отв. ред. С. Л. Куклина, Г. А. Воробьева. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2021. 71 с.

MORPHOANALYTIC CHARACTERISTICS OF SOILS FORMED UNDER THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC IMPACT OF A GYPSUM MINE, SOUTHERN ANGARA REGION

N. D. Kiseleva, V. D. Nikolaeva, A. L. Prokopenko
Irkutsk State University, Irkutsk, nata_kis71@list.ru

The analysis of the electrical conductivity, carbonate ($CaCO_3$) and gypsum ($CaSO_4*2H_2O$) content in the studied soils revealed significant differences, which are caused by both natural factors and anthropogenic impact. The high electrical conductivity of the anthropogenically reclaimed soil, despite the low gypsum content, indicates the presence of other soluble salts. In the alluvial soil, on the contrary, the electrical conductivity is probably largely due to the high gypsum content. Brown soil, despite its high carbonate content, has a low electrical conductivity due to its predominantly insoluble form. Chernozem, which forms under conditions of sufficient moisture, has lower values for all three indicators due to the influence of a stronger washing regime.

УДК 631.484

ВЕРТИКАЛЬНАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ-ОЛИГОТРОФОВ, БАЗАЛЬНОГО И СУБСТРАТ-ИНДУЦИРОВАННОГО ДЫХАНИЯВ ПОЧВОГРУНТАХ НА ОБЪЕКТАХ ЗАХОРОНЕНИЯОТХОДОВ И ПРИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИИ

А. В. Козлов[1], М. А. Бодякшина[2], А. М. Никитенко[2]

[1]Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН
Москва, kozlov.av@geokhi.ru
Российский государственный аграрный университет –
МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, grpancake@gmail.com

Объекты размещения отходов (полигоны отходов производства и потребления, несанкционированные свалки) оказывают существенное негативное воздействие на почвенные экосистемы [2]. Одним из ключевых индикаторов общего статуса почвенной микробиоты служит состояние пула микроорганизмов-олиготрофов – организмов, способных развиваться при крайне низких концентрациях питательных веществ в почвенном растворе. Их численность, а также показатели базального и субстрат-индуцированного дыхания почвы отражают метаболическую активность и устойчивость микробного сообщества [7].

Целью работы явился анализ вертикальной и пространственной вариабельности указанных параметров в почвенно-техногенных грунтах, образовавшихся в результате размещения отходов, на разных этапах жизненного цикла полигонов: до проведения восстановительных мероприятий, в ходе и после их рекультивации. Объектами исследования являются почвенно-техногенные грунты объектов накопленного экологического вреда «Шуваловская свалка» и стихийной свалки у бывшего полигона ТБО «Игумново», расположенных в Нижегородской области, а также почвы с территорий данных объектов после проведения на них рекультивационных мероприятий.

Свалка у полигона «Игумново» – несанкционированная свалка строительных отходов, расположена в городском округе Дзержинска, площадь – около 11,3 гектар. Отходы свалки включали преимущественно строительный мусор. Рекультивация объекта проходила с 2023 по 2024 г. [5]. Использовалась технология сепарации свалочных масс методом сухого грохочения. Объединенные пробы почв и техногенных почвогрунтов отбирались на каждом этапе функционирования свалки (рис. 1).

Шуваловская свалка работала с 1970-х гг., официально закрыта в 1983 г., но до 2020 г. несанкционированно свозились отходы. Площадь – около 18 гектар, отходы включали бытовой мусор и строительные материалы (бетон, кирпич) [6]. Рекультивация проходила с 2020 по 2023 г. способом сепарации свалочных масс методом сухого грохочения. Объединенные пробы почв и техногенных почво-грунтов отбирались на каждом этапе функционирования свалки (рис. 2).



Рис. 1. Точки отбора объединенных проб почвенно-техногенной смеси с исследуемого объекта «Свалка у бывшего полигона ТБО «Игумново» (Нижегородская область)

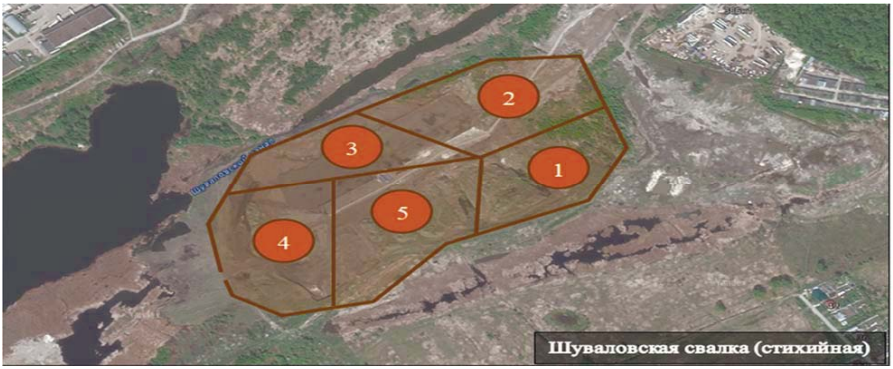


Рис. 2. Точки отбора объединенных проб почвенно-техногенной смеси исследуемого объекта «Шуваловская свалка» (г. Нижний Новгород)

Для определения относительной численности олиготрофных микроорганизмов, в т. ч. олигонитрофилов, использовали селективную питательную среду Эшби, анализ проводили чашечным методом Коха с разведением почвенной суспензии по Пастеру. Состав среды, г/л: agar-agar 20,0; glucose – 20,0; $CaCO_3$ – 5,0; K_2HPO_4 – 0,2; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,2; NaCl – 0,2. Культивирование микроорганизмов на агаре Эшби проводили в течение 7 дней в термостате при +28 ºС [3].

Лабораторную закладку, определение и расчет базального (БД) и субстрат-индуцированного (СИД) дыхания почвы проводили по общепринятому методическому (хроматографическому) подходу Андерсона-Домша в модификации Н. Д. Ананьевой с окончанием на хроматографе Кристалл-2000М [1; 8].

По результатам исследований в техногенных грунтах объекта «Шуваловская свалка» (табл. 1) до проведения рекультивации уровень численности олиготрофов в горизонте А составляла $6{,}13 \cdot 10^5$ КОЕ/1 г, в горизонте В – $2{,}24 \cdot 10^3$ КОЕ/1 г. На техническом этапе произошло резкое снижение количества жизнеспособных клеток до $0{,}48 \cdot 10^1$ и $0{,}07 \cdot 10^1$ КОЕ/1 г соответственно. На био-

логическом этапе рекультивации отмечен рост числа микроорганизмов до $3{,}25\times10^2$ и $1{,}62\cdot10^2$ КОЕ/1 г.

На объекте «Стихийная свалка ТКО у полигона «Игумново» до проведения рекультивации вариабельность численности олиготрофов в горизонте А составляла $19{,}93\times10^5$ КОЕ/1 г, в горизонте В – $9{,}10\cdot10^2$ КОЕ/1 г. На техническом этапе показатели снизились до $10{,}82\cdot10^1$ и $1{,}16\cdot10^1$ КОЕ/1 г соответственно. На биологическом этапе зафиксирован рост количества микробных олиготрофов до $13{,}46\cdot10^3$ и $2{,}77\cdot10^2$ КОЕ/1 г.

Таблица 1

Динамика относительной численности олиготрофных микроорганизмов в почвогрунтах разной стадии рекультивации на объектах «Шуваловская свалка» (г. Нижний Новгород) и «Стихийная свалка ТКО у полигона «Игумново» (г. Дзержинск)

Стадия рекультивации	Численность живых клеток олиготрофов, КОЕ/1 г почвогрунта	
	Горизонт А (0–20 см)	Горизонт В (50–100 см)
Объект «Шуваловская свалка»		
До рекультивации (2020 г.)	$6{,}13\cdot10^5$	$2{,}24\cdot10^3$
Технический этап (2022 г.)	$0{,}48\cdot10^1$	$0{,}07\cdot10^1$
Биологический этап (2023 г.)	$3{,}25\cdot10^2$	$1{,}62\cdot10^2$
Объект «Стихийная свалка ТКО у полигона «Игумново»		
До рекультивации (2023 г.)	$19{,}93\cdot10^5$	$9{,}10\cdot10^2$
Технический этап (2024 г.)	$10{,}82\cdot10^1$	$1{,}16\cdot10^1$
Биологический этап (2025 г.)	$13{,}46\cdot10^3$	$2{,}77\cdot10^2$

Было установлено, что наблюдается четкая динамика снижения вариабельности численности олиготрофных микроорганизмов на техническом этапе объектов исследования и увеличение на биологическом этапе.

Понижение численности микроорганизмов-олиготрофов на техническом этапе ее рекультивации может быть связано с механическим воздействием техники на структуру почвы. Нарушение структуры почвогрунтов в результате их перемещения и уплотнения создает неблагоприятные условия для выживания микроорганизмов. Рост численности микроорганизмов на биологическом этапе может быть обусловлен внесением органических добавок и посевом трав, что улучшает питательный режим и аэрацию почвы [4]. Также наблюдается тенденция восстановления численности микроорганизмов по вертикали: горизонт А быстрее горизонта В, что может объясняться лучшей доступностью кислорода, влаги и органических веществ в верхних слоях почвы.

На основе проведенного исследования объекта «Шуваловская свалка» вариабельность базального дыхания в горизонте А до рекультивации составляла 2,12 мкг $C\text{-}CO_2$/г/ч, на техническом этапе показатель вырос до 18,46 мкг $C\text{-}CO_2$/г/ч, а на биологическом немного понизился до 15,30 мкг $C\text{-}CO_2$/г/ч. Вариабельность субстрат-индуцированного дыхание показало аналогичную динамику: 3,23 → 29,80 → 21,36 мкг $C\text{-}CO_2$/г/ч.

Анализ данных по горизонту В имеет схожую тенденцию, но с менее выраженной динамикой из-за меньшей доступности органического вещества и бо-

лее низкой изначальной биологической активности. На техническом этапе объекта «Шуваловская свалка» наблюдается рост базального дыхания почвы в 13,5 раз относительно начального уровня, на биологическом – снижение на 14,4 %. Также наблюдалось увеличение субстрат-индуцированного дыхания почвы в 9,3 раза на техническом этапе, затем снижение на 20,3 % на биологическом.

Таблица 2

Динамика базального и субстрат-индуцированного дыхания почвогрунтов разной стадии рекультивации на объектах «Шуваловская свалка» (г. Нижний Новгород) и «Стихийная свалка ТКО у полигона «Игумново» (г. Дзержинск)

Стадия рекультивации	Базальное дыхание (БД), мкг $C\text{-}CO_2$/1 г/ч		Субстрат-индуцированное дыхание (СИД), мкг $C\text{-}CO_2$/1 г/ч	
	Горизонт А (0–20 см)	Горизонт В (50–100 см)	Горизонт А (0–20 см)	Горизонт В (50–100 см)
Объект «Шуваловская свалка»				
До рекультивации (2020 г.)	2,12	0,45	3,23	0,96
Технический этап (2022 г.)	18,46	6,06	29,80	8,92
Биологический этап (2023 г.)	15,30	5,19	21,36	7,11
Объект «Стихийная свалка ТКО у полигона «Игумново»				
До рекультивации (2023 г.)	4,71	1,65	7,08	3,17
Технический этап (2024 г.)	9,23	3,56	17,64	7,84
Биологический этап (2025 г.)	13,11	4,82	22,15	9,03

По объекту «Стихийная свалка ТКО у полигона «Игумново» базальное дыхание в горизонте А почвенного профиля увеличилось с 4,71 до 9,23 мкг $C\text{-}CO_2$/г/ч на техническом этапе и до 13,11 мкг $C\text{-}CO_2$/г/ч на биологическом. Субстрат-индуцированное дыхание возросло с 7,08 до 22,15 мкг $C\text{-}CO_2$/г/ч.

Динамика базального дыхания горизонта В почвы стихийной свалки у полигона «Игумново» показывает постепенный рост на техническом этапе – в 2,2 раза, на биологическом – еще на 35,4 %, а субстрат-индуцированного дыхания – в 2,5 раза на техническом этапе и еще на 15,2 % на биологическом.

Увеличение динамики базального и субстрат-индуцированного дыхания почвогрунтов на техническом этапе может быть связано с разложением легкодоступного органического вещества, высвобождающейся при перемешивании грунта. На биологическом этапе анализируемые показатели стабилизируются, что может указывать на формирование более устойчивого и сбалансированного микробного сообщества [9].

Таким образом, результаты исследований показали, что при проведении технического этапа рекультивации почвенного покрова снижается численность олиготрофных микроорганизмов вероятно вследствие механических воздействий на структуру почвогрунтов. Относительное восстановление численности микроорганизмов происходит на биологическом этапе, когда создаются благоприятные условия для их развития. Горизонт А (0–20 см) восстанавливается быстрее, чем горизонт В (50–100 см), по-видимому, благодаря его лучшей аэрации, увлажнению и доступности органических веществ.

Динамика базального и субстрат-индуцированного дыхания почвы отражает общую активность микробного сообщества: рост показателей на техническом этапе сменяется стабилизацией на биологическом, что говорит о формировании устойчивой экосистемы.

Проведенное исследование подтверждает, что микробиологические параметры являются значимым инструментом для оценки эффективности рекультивации загрязненных территорий. Комплексный анализ численности олиготрофов, базального и субстрат-индуцированного дыхания позволяет выявить динамику восстановления почвенной микробиоты и определить оптимальные стратегии рекультивации для конкретных объектов. Численность олиготрофных микроорганизмов в почве, а также показатели ее базального и субстрат-индуцированного дыхания являются чувствительными индикаторами, по сути отражающими направление и эффективность рекультивационных мероприятий. Мониторинг их уровня и динамики изменения позволяет объективно оценить состояние почвенной экосистемы и скорректировать методы восстановления.

Работа выполнена в рамках госзадания Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Литература

1. Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М. : Наука, 2003. 223 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». М. : Минприроды РФ, 2022.
3. Козлов А. В. Методы почвенной микробиологии и энзимологии в экосистемных исследованиях. М. : Плодородие, 2023. 152 с.
4. Наумова Н. Б., Костина Н. В. Микробиологическая индикация техногенно загрязненных почв // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2010. № 10. С. 88–95.
5. Проект рекультивации «Свалка у бывшего полигона ТБО Игумново»: Раздел 2. Инженерные изыскания. Подраздел 4. Инженерно-экологические изыскания / ГБУ НО «Экология региона». Дзержинск, 2021. 154 с.
6. Проект рекультивации «Шуваловская свалка»: эколого-экономическое обоснование рекультивации земель. Кн. 1. Оценка воздействия на окружающую среду / ВРОНО «Экологическая академия». Нижний Новгород, 2019. 166 с.
7. Тихановский А. Н. Биоремедиация полигонов ТБО: микробиологические аспекты // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 5. С. 42–47.
8. Anderson, J. P. E., Domsch, K. H. The amount of plant nutrients in the microbial biomass of individual soils // Soil Science. 1980. Vol. 130, N 4. P. 211–216.
9. Bardgett R. D. The biology of soil: a community and ecosystem approach. Oxford University Press, 2005. 256 p.

VERTICAL AND SPATIAL VARIABILITY OF OLIGOTROPHICMICROORGANISMS BASAL AND SUBSTRATE-INDUCED RESPIRATIONIN SOILS AT BURIAL SITES WASTE AND RECOVERY

A. V. Kozlov[1], M. A. Bodyakshina[2], A. M. Nikitenko[2]
[1]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, kozlov.av@geokhi.ru
[2]Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, grpancake@gmail.com

The article examines impact of recultivation measures on state of soil and technogenic soils at two objects of accumulated environmental damage: the Shuvalov landfill and the spontaneous landfill at the Igumnovo landfill. The number of oligotrophic microorganisms, as well as indicators of basal and substrate-induced respiration at each stage of recultivation were selected as key indicators of state of microbial community of soils. It was found that intensity of basal and substrate-induced respiration of soils significantly increases with beginning of mechanical stage of their recultivation and goes into remission at the biological stage. The number of living microorganisms-oligotrophic living in soils, on contrary, sharply decreases at initial stage of recultivation measures and begins to recover on a biological one. High informativity of selected microbiological indicators in monitoring the effectiveness of soil recultivation at solid waste landfills determines possibility of their use in development of strategies for restoration of contaminated areas.

УДК 631.484

ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИИ КОЛИЧЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ-ОЛИГОТРОФОВ, СУБСТРАТ-ИНДУЦИРОВАННОГО И БАЗАЛЬНОГО ДЫХАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ СВЕРХДЛИТЕЛЬНОЙ ХИМИЗАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

А. В. Козлов[1], И. В. Коржов[2], А. М. Никитенко[2]

[1]Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Москва, kozlov.av@geokhi.ru
[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, ivan_korzhov@mail.ru

Биологическая активность микробиома почв является одним из наиболее информативных и чувствительных критериев их общего состояния и устойчивости. Общая активность почвенных микробиоценозов определяется совокупностью биохимических процессов, которые протекают в почве при его непосредственном участии, а уровень их интенсивности строится на способности почвенных организмов к трансформации и синтезу различных веществ [1; 2].

Например, чем интенсивнее микробное выделение углекислого газа из почвы, тем активнее происходят в ней биологические процессы и тем лучшими складываются условия для возделывания сельскохозяйственных культур и выше их потенциальная урожайность. Общим показателем, характеризующим активность микробиологических процессов, протекающих в почвах, а также их биохимического состояния, являются показатели интенсивности дыхания почвенного вещества, т. е. выделения различных газов, из которых приоритетным здесь является CO_2. Почвенное дыхание характеризует функциональное состояние целостной экосистемы в каждый конкретный момент времени и является интегральным параметром оценки ее функционирования [4].

Объектом исследования служила дерново-подзолистая почва с Длительного полевого опыта им. проф. А. Г. Дояренко, заложенного в 1912 г. при РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. С делянок опыта на протяжении 2023–2025 гг. отбирали почвенные пробы методом по ГОСТ 58595-2019. Отобранные пробы маркировали и помещали в специальные мешочки. Точечные пробы отбирались буром. Отобранные объединенные пробы помещали в пакеты вместе с этикеткой. Количество углекислого газа, образующегося в результате деятельности микроорганизмов в почве, определяли методом газовой хроматографии при помощи газового хроматографа. Все образцы почвы приводили к единой влажности. Единая влажность достигалась в течение четырех суток.

Для определения относительной численности олиготрофных микроорганизмов, в т. ч. олигонитрофилов, использовали селективную питательную среду Эшби, анализ проводили чашечным методом Коха с разведением почвенной суспензии по Пастеру. Состав среды, г/л: agar-agar 20,0; glucose – 20,0; $CaCO_3$ – 5,0; K_2HPO_4 – 0,2; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,2; NaCl – 0,2. Культивирование микроорганизмов на агаре Эшби проводили в течение 7 дней в термостате при +28 ºС [3].

Лабораторную закладку, определение и расчет базального (БД) и субстрат-индуцированного (СИД) дыхания почвы проводили по общепринятому методическому (хроматографическому) подходу Андерсона-Домша в модификации Н. Д. Ананьевой с окончанием на хроматографе Кристалл-2000М [1; 5].

Проанализировав данные по количеству живых клеток олиготрофных микроорганизмов в дерново-подзолистой почве опыта, было выявлено, что количество микробных олиготрофов в почве при бессменном выращивании озимой ржи значительно выше, данные по их относительному количеству достигают порядка $8{,}82 \cdot 10^4$ КОЕ/1 г почвы. Обратная ситуация складывается при возделывании ржи в севообороте, здесь полученные данные на порядок ниже, а минимальная отметка достигает $2{,}15 \cdot 10^2$ КОЕ/1 г почвы.

Таблица 1

Динамика относительной численности олиготрофных микроорганизмов в дерново-подзолистой почве в условиях Длительного полевого опыта РГАУ-МСХА (г. Москва)

Год исследования	Численность живых клеток олиготрофов, КОЕ/1 г почвы	
	Выращивание в севообороте	Бессменное выращивание
Озимая рожь		
2023	$4{,}92 \cdot 10^2$	$8{,}82 \cdot 10^4$
2024	$2{,}15 \cdot 10^2$	$6{,}25 \cdot 10^4$
2025	$3{,}69 \cdot 10^2$	$7{,}13 \cdot 10^4$
Картофель		
2023	$49{,}06 \cdot 10^3$	$25{,}29 \cdot 10^5$
2024	$32{,}29 \cdot 10^3$	$22{,}60 \cdot 10^5$
2025	$41{,}53 \cdot 10^3$	$24{,}37 \cdot 10^5$

Из табл. 1 также следует, что при возделывании картофеля в севообороте значения численности живых клеток олиготрофов выше, чем при бессменном выращивании и достигают порядка $49{,}06 \cdot 10^3$ КОЕ/1 г почвы.

В табл. 2 представлены значения по уровню базального и субстрат-индуцированного дыхания дерново-подзолистой почвы в условиях Длительного полевого опыта. По данным следует, что показатели почвенного дыхания при выращивании культур в севообороте выше, чем при бессменном выращивании. Так, в условиях севооборота под озимой рожью показатели субстрат-индуцированного дыхания (СИД) достигают 32,88 мкг $C\text{-}CO_2$/1 г/ч, а показатели СИД под картофелем в севообороте – порядка 51,06 мкг $C\text{-}CO_2$/1 г/ч.

При бессменном возделывании озимой ржи показатели почвенного дыхания минимальны и опускаются до 2,12 мкг $C\text{-}CO_2$/1 г/ч базального дыхания. В почве под бессменным картофелем показатели БД варьируются от 3,45 до 5,49 мкг $C\text{-}CO_2$/1 г/ч.

Таблица 2

Динамика базального и субстрат-индуцированного дыхания дерново-подзолистой почвы в условиях Длительного полевого опыта РГАУ-МСХА (г. Москва)

Год исследования	Показатели почвенного дыхания, мкг $C\text{-}CO_2$/1 г/ч			
	Выращивание в севообороте		Бессменное выращивание	
	БД	СИД	БД	СИД
Озимая рожь				
2023	19,40	32,88	3,25	9,41
2024	16,05	27,64	2,12	6,93
2025	18,82	31,70	3,01	8,60
Картофель				
2023	21,10	51,06	5,49	18,37
2024	17,66	42,98	4,77	16,03
2025	19,35	47,77	3,45	13,72

В результате проведенных исследований было установлено, что в условиях сверхдлительной агрохимической нагрузки возделывание культур в севообороте более благоприятно сказывается на микробиологических характеристиках почвы, таких как субстрат-индуцированное дыхание (СИД) и базальное дыхание (БД). Кроме того, возделываемая культура также оказывает свое определенное влияние на общий уровень микробиологической активности почвы.

Также важно отметить, что численность олиготрофных микроорганизмов в дерново-подзолистой почве Длительного полевого опыта на порядки ниже при возделывании культур в севообороте, чем при бессменном возделывании. Особенно данная зависимость хорошо видна при анализе данных при возделывании картофеля.

Работа выполнена в рамках госзадания Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Литература

1. Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М. : Наука, 2003. 223 с.

2. Андреев М. И., Марьина-Черных О. Г. Влияние интенсивных систем земледелия на почвенную биоту // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2017. Т. 3, № 4 (12). С. 11–15.

3. Козлов А. В. Методы почвенной микробиологии и энзимологии в экосистемных исследованиях. М. : Плодородие, 2023. 152 с.

4. Попова Л. А., Блынская Т. А. Микробиологическая активность дерново-подзолистой почвы в севообороте и при возделывании монокультуры картофеля в условиях Архангельской области // Плодородие. 2012. № 1. С. 35–37.

5. Anderson, J. P. E., Domsch, K. H. The amount of plant nutrients in the microbial biomass of individual soils // Soil Science. 1980. Vol. 130, N 4. P. 211–216.

PECULIARITIES OF VARIATION OF MICROORGANISMS-OLIGOTROPHIC NUMBER, SUBSTRATE-INDUCED AND BASALRESPIRATION OF SOD-PODZOLIC SOIL DURINGSUPER-SOLID CHEMIZATION OF AGROECOSYSTEM

A. V. Kozlov[1], I. V. Kozlov[2], A. M. Nikitenko[2]
[1]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, kozlov.av@geokhi.ru
[2]Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, ivan_korzhov@mail.ru

The paper discusses change in microbiological activity of sod-podzolic soil of the Long Field Experience named after prof. A. G. Doyarenko as an indicator of its integral state in conditions of an ultra-long agrochemical load on the agroecosystem. The key indicator of microbial activity here is intensity of respiration (CO_2 release) of the soil substance, which reflects functional state of ecosystem and can affect potential yield of crops. Soil respiration was measured as basal and substrate-induced carbon dioxide release. The number of living oligotroph cells in soil was also evaluated. It was found that under conditions of permanent cultivation of both winter rye and potatoes, level of relative number of viable cells of oligotrophic microorganisms is orders of magnitude higher than when they are cultivated under crop rotation conditions. At same time, level of basal and substrate-induced soil respiration, on contrary, is higher in conditions of growing both crops in crop rotation.

УДК 631.41(571.54/.55)(-21)

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ И ЭКОЛОГИЯ (Г. БАЛЕЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ)

А. Т. Корольков[1], Н. С. Маркин[2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск
[2]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
baley51@mail.ru, markkin. ns@gmail.com

В работе рассмотрены почвы территории с катастрофическим промышленным загрязнением окружающей среды. Этот промышленный район хорошо известен наличием уникальных месторождений россыпного и коренного золота [2]. За всю историю освоения г. Балей дал стране более 400 т золота. Особенно интенсивно месторождения золота отрабатывались в годы войны, когда требовалось расплачиваться с американцами за помощь в борьбе с немецко-фашистскими захватчиками. Комбинат «Балейзолото» был градообразующим предприятием и успешно разрабатывал золоторудные месторождения до перестройки в стране (до 1995 г.). Существовали шахты, два карьера горно-открытых работ, две золотоизвлекательные фабрики, после которых остались очень крупные по объему шламонакопители. Наибольшую площадь они занимают в мкр. Новотроицк (пригород г. Балея), который расположен в 3 км от центра города. После прекращения финансирования геологоразведочных и эксплуатационных работ г. Балей стал стремительно умирать. Шахты и карьеры крупных золоторудных месторождений Балейского и Тасеевского сейчас затоплены агрессивной, богатой тяжелыми металлами водой. Проблема осложняется высокой радиоактивностью окружающей среды. С 1949 по 1965 г. в мкр. Новотроицк г. Балей существовало входившее в систему Атомного проекта страны секретное предприятие № 1084, которое разрабатывало россыпное месторождение радиоактивного минерала монацита (содержит до 10 % тория), после прекращения работы которого необходимой рекультивации не было сделано. Строительные организации использовали чистый монацитовый песок для внутренней отделки помещений, что сделало многие дома непригодными для проживания.

Опробование почв было произведено в наиболее загрязненной части г. Балей, которой соответствует мкр. Новотроицк. Пробы отбирались по шести участкам (рис. 1). Исходные пробы грунта представляли собой вертикальный разрез почвы: супесь – гумус – растительный отпад. Макрокомпонентный состав проб (Ca, Mg, Na, K, Si) грунта определен классическим методом аналитической химии. Определение таких элементов, как Pb, Zn, Cu, Ag, Hg, Ni, Cr, Sr, Mn, Cd осуществлено атомно-абсорбционным методом с непламенной атомизацией. Определение Sn, B, Mo, V, Ba, Ti, Fe, Al осуществлено методом атомно-эмиссионного анализа. Анализ всех проб осуществлялся в аналитическом центре Института геохимии СО РАН. U и Th были проанализированы из дубликатов тех же проб методом рентгенофлуоресцентного анализа в ПГО «Сосновгеология» [3].

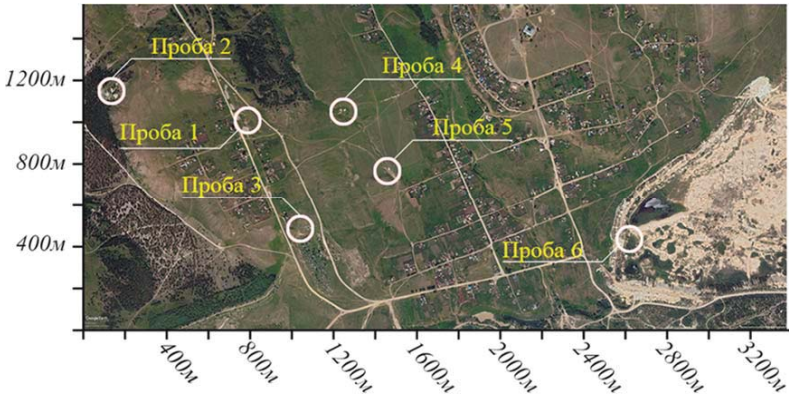


Рис. 1. Схема точек отбора проб грунта: *1* – бывшая обогатительная фабрика по извлечению концентрата (для добычи тория) из монацитового песка; *2* – шламохранилище бывшей фабрики по извлечению монацитового концентрата; *3* –окрестность кладбища мкр. Новотроицк; *4, 5* – насыпи вблизи русла реки, где разрабатывалась монацитовая россыпь; *6* – шламохранилище бывшей золотоизвлекательной фабрики

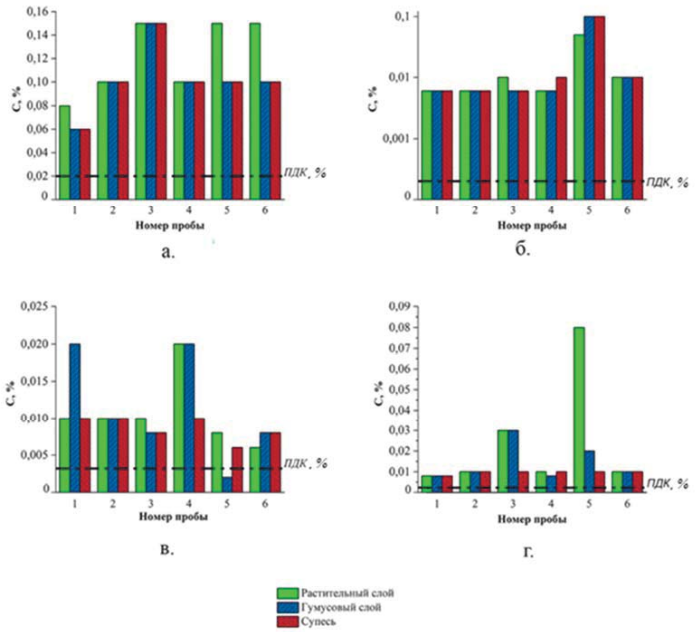


Рис. 2. Наиболее значимые валовые концентрации загрязнителей в пробах почв (С – концентрация анализируемого вещества, выраженная в %): А – барий, Б –мышьяк, В – свинец, Г – цинк

Для каждого из исследуемых участков наблюдается превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) мышьяка (0,0002 %)[2]. в 30–500 раз (см. рис. 3). Рассматриваемый элемент относится к первому классу опасности[3] (высокоопасное вещество) и является высокотоксичным элементом. Длительное воздействие мышьяка на организм человека способно приводить к развитию рака мочевого пузыря и легких. Исследования доказали наличие негативного влияния на умственное развитие, снижение интеллекта и памяти. [5]. Более того, мышьяк связан с неблагоприятными исходами беременности, повышает риск детской смертности [8].

Концентрация свинца (см. рис. 2) в отобранных пробах почвы колеблется в пределах 0,006 до 0,02 %, что превышает ПДК (0,0032 %)[1] на каждом из рассмотренных участков в 1,9 – 6,3 раза. Содержание свинца в растительном покрове аналогично содержанию рассматриваемого элемента в почве. Рассматриваемый элемент относится к первому классу опасности и является одним из наиболее токсичных элементов в природе. Длительное воздействие свинца на организм человека может привести к поражению стенок сосудов, увеличивая риск развития гипертонии [6]. Помимо этого, свинец способен оказывать негативное воздействие на репродуктивную функцию человеческого организма, увеличивая риск преждевременных родов и самопроизвольных абортов. Более того, воздействие свинца негативно сказывается на развитии функций центральной нервной системы, в особенности, детского организма. Даже низкие концентрации свинцовой интоксикации способны привести к снижению умственного и физического развитий у детей, вызывая гиперактивность и снижение внимания и работоспособности [7; 9].

Содержание валовых форм цинка (см. рис. 2) в пробах почвы колеблется в пределах от 0,008 до 0,02 %. Наблюдается превышение ПДК (0,0087 %)[1] в 4,3 – 13 раз на каждом участке, за исключением участка 1. Для растительного покрова содержание цинка колеблется в пределах 0,008 – 0,08 %, что свидетельствует об аккумуляции рассматриваемого элемента растительностью. Цинк также относится к первому классу опасности[2]. Высокие концентрации цинка в организме способствуют развитию патологий органов пищеварения и печени. Более того, цинк обладает канцерогенными свойствами. Так, повышенное содержание цинка в среде обитания (в частности, в почве) увеличивают частоту онкологии желудка и пищевода [4].

Концентрация бария (см. рис. 2) колеблется от 0,06 до 0,15 % для почвенного слоя, от 0,08 до 0,15 % для растительного покрова. Рассматриваемый элемент относится к третьему классу опасности. Ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) бария в почве составляет 0,02 %[4]. Таким образом, на каждом из апробированных участков валовое содержание бария превышает ОДК в 3–7,5 раз. На сегодняшний день эффекты влияния бария на организм человека яв-

[2] МУ 2.1.7.730-99. Гигиенические требования к качеству почвы населенных мест, 1999.
[3] ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения
[4] ГН 2.1.7.12-1-2004. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве, 2004.

ляются малоизученными. Установлено, что повышенная концентрация бария в почве и растениях приводит к нарушению обмена кальция и поражению костной ткани животных [1].

На участках 1–5 обнаружены повышенные концентрации тория (кларк почвы 10,5 мг/кг [11], содержание в пробах – 12–144 мг/кг). Изотоп тория-232 (изотопная распространенность практически 99,9 %) является родоначальником радиоактивного семейства тория, период полураспада составляет 13,8 млрд лет. Наибольшую опасность для здоровья человека представляет один из дочерних продуктов распада тория – летучий газ торон (изотоп радона-220). При вдыхании торон смешивается с легочным воздухом, диффундируя в ток крови, и разносится по организму. На сегодняшний день описаны необратимые последствия от внутреннего облучения тороном – атрофические изменения кожи с нарушением эпидермиса, разрушение подкожной ткани и кожных капилляров [10].

Проведенные исследования мкр. Новотроицк г. Балей показали крайне неблагоприятное экологическое состояние почвенно-растительного покрова.

Источниками загрязнения являлись отложения монацитовой россыпи, хвосты фабрики по извлечению монацитового концентрата, хвостохранилища золотоизвлекательных фабрик, транспортные средства (на месте фабрик по извлечению монацитового концентрата длительное время существовал авторемонтный завод).

Выявлен ряд участков, химическое загрязнение которых не соответствует санитарным требованиям. Результаты проведенных исследований требуют детального геохимического мониторинга почв всего района, где многие жители используют загрязненные почвы.

Литература

1. Кашин В. К. Барий в Компонентах ландшафтов Западного Забайкалья // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1242–1253.

2. Корольков А. Т. Монацитовая проблема города Балея // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2016. № 1 (54). С. 96–103.

3. Маркин Н. С., Корольков А. Т. Геохимическая характеристика почв наиболее загрязненной части Балея (Забайкальский край) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 35. С. 71–83. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.71

4. Протасова Н. А. Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 12. С. 32–37.

5. Association of Arsenic with Adverse Pregnancy Outcomes/Infant Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis / R. Quansah, F. A. Armah, D. K. Essumang, I. Luginaah, E. Clarke, K. Marfoh, S. J. Cobbina, E. Nketiah-Amponsah, P. B. Namujju, S. Obiri, M. Dzodzomenyo // Environmental heals perspectives. 2015. № 123. P. 412–421.

6. Debnath B., Singh W. S., Manna K. Sources and toxicological effects of lead on human health // Indian Journal of Medical Specialities. 2019. N 10. P. 66–71.

7. Effect of lead acetate on reproduction / D. C. Hilderbrand, R. Der, W. T. Griffin, M. S. Fahim // American Journal of Obstetrics and Gynecology. 1973. Vol. 115, N 8. P. 1058–1065.

8. Farzan S. F., Karagas M. R., Chen Y. In utero and early life arsenic exposure in relation to long-term health and disease // Toxicol Appl Pharmacol. 2013. N 272. P. 384–390.

9. Lead-induced adverse effects on the reproductive system of rats with particular reference to histopathological changes in uterus / U. P. Nakade, S. K. Garg, A. Sharma, S. Choudhury, R. S. Yadav, K. Gupta, N. Sood // Indian Journal of Medical Specialities. 2015. N 47. P. 22–26.

10. Bowie C., Bowie S. H. U. Radon and health // The Lancet. 1991. Vol. 337. P. 409–413.

11. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. Vol. 3. The Crust. Elsevier Sci., 2003. P. 1–64.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF POLLUTED SOILS AND ECOLOGY (BALEY, ZABAYKALSKY KRAI)

A. T. Korolkov[1], N. S. Markin[2]
[1]Irkutsk State University, Irkutsk, baley51@mail.ru
[2]Far Eastern Federal University, Vladivostok, markkin. ns@gmail.com

Material for this work is the results of analysis of soil samples for 38 macro- and microelements in the Central part of the Novotroitsk district from the monazite placer to the tailings dump of gold recovery factories. In each sample, three sections were analyzed: grass flooring, humus layer, sandy loam. Interpretation of the results of the soil samples analysis by section showed high concentrations exceeding many times the MPC for many elements. But especially high – for barium, arsenic, lead, and zinc. The results of these studies require detailed geochemical monitoring of soils.

УДК 631.474(571)

ДИНАМИКА СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. П. Лапердин[1], А. А. Козлова[1,2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск
[2]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
laperdin0404@mail.ru, allak2008@mail.ru

Кадастровая стоимость земельного участка – это официальная оценка земли, рассчитываемая государством, и рассчитывается по специальным формулам, включающим локацию, предназначение и другие факторы без учета реальной ценовой политики на рынке недвижимости. Расчет осуществляется в так называемом массовом порядке без внимания к индивидуальным характеристикам имущества. Значение устанавливается в результате государственной оценки, проводимой при участии независимых экспертов. Решение о проведении процедуры принимают региональные власти или муниципалитеты, которые выбирают подрядчиков и заключают с ними договоры. По итогам работы эксперты определяют цену 1 м^{2}надела, которая и будет использоваться для вычисления в будущем. Кадастровая стоимость определяется по формуле [11; 18; 19]:

$$s = S \cdot P$$

где s – итоговая цена; S – стоимость за квадрат земли; P – площадь объекта.

Регулярность проведения оценки 1 раз в два года для Москвы, Санкт-Петербурга и Севастополя, 1 раз в четыре года – для остальных населенных пунктов. Рыночная оценка – это стоимость недвижимости, устанавливаемая самим собственником, а также при участии риэлтора и оценщика. Она определяется с учетом текущей ситуации, востребованности объекта, окружающей инфраструктуры [11; 18; 19].

В некоторых случаях кадастровая стоимость по Росреестру может совпадать с некоторыми тенденциями рынка. Однако такие случаи встречаются достаточно редко. В Иркутской области регулярно проводятся циклы государственной кадастровой оценки, результаты которых публикуются в открытом доступе [12–17]. Значение устанавливается в результате государственной оценки, проводимой при участии независимых экспертов. Решение о проведении процедуры принимают региональные власти или муниципалитеты, которые выбирают подрядчиков и заключают с ними договоры. Расчет кадастровой стоимости земельного участка может значительно отличаться от фактической цены объекта на рынке [5].

В регионе было проведено четыре цикла государственной кадастровой оценки: в 2007–2008 гг., 2012–2013 гг., 2017–2018 гг. и 2021–2022 гг. (с утверждением результатов в 2022 г.). Динамика данных изменения кадастровой стоимости земель составлена по сведениям, представленным в региональных докладах «О состоянии и использовании земель в Иркутской области» (2008–

2024 гг.) Управления Росреестра по Иркутской области [5; 12–17]. Для оценки интенсивности изменений были рассчитаны среднегодовые темпы роста кадастровой стоимости (СГТР) за каждый межоценочный период по данным табл. 1. Методика расчета СГТР предполагает использовать стандартную формулу среднегодового темпа роста (CAGR – Compound Annual Growth Rate) [8]:

$$\text{СГТР} = \left(\left(\frac{V_{\text{кон}}}{V_{\text{нач}}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \times 100\%$$

где $V_{кон}$ – значение кадастровой стоимости в конце периода; $V_{нач}$ – значение кадастровой стоимости в начале периода; n – количество лет в периоде

Для обеспечения сопоставимости данных все показатели приведены в рублях за квадратный метр в ценах соответствующих лет (без учёта инфляции, так как целью являлось выявление относительных изменений и трендов) (табл. 1).

Таблица 1

Динамика средней кадастровой стоимости земель по категориям в Иркутской области (руб/м^2)

Категория земель	2008	2013	2018	2022	Изменение 2022/2008, %
Земли населённых пунктов	45,2	78,5	112,3	168,7	+273
Земли сельскохозяйственного назначения	1,8	3,2	4,5	5,9	+228
Земли промышленности	12,4	18,6	22,1	25,4	+105

Проведённый анализ показал, что за 14 лет наиболее значительный рост кадастровой стоимости отмечен для земель населённых пунктов – в 3,7 раза. Это объясняется активным жилищным строительством в областном центре и пригородах, развитием рынка коммерческой недвижимости и увеличением инвестиционной привлекательности территории. Рост стоимости земель сельскохозяйственного назначения (в 3,3 раза) связан не только с общей инфляцией, но и с уточнением качественных характеристик почв в ходе бонитировки, а также с вовлечением в оборот более ценных угодий. Наименьший рост (в 2,0 раза) продемонстрировали земли промышленности, что отражает стабильность данного сегмента и меньшее влияние рыночных факторов.

Расчёт среднегодовых темпов роста позволил выявить неравномерность динамики кадастровой стоимости [10]. Так, наибольшие среднегодовые темпы (более 11 %) наблюдались в период 2008–2013 гг., что связано с переходом к рыночным механизмам оценки и восстановлением рынка недвижимости после кризиса 2008–2009 гг. (табл. 2). В 2013–2018 гг. темпы роста замедлились до 7,1–7,4 % для земель населённых пунктов и сельскохозяйственного назначения, что объясняется стабилизацией рынка и началом активного оспаривания завышенных результатов оценок. Период 2018–2022 гг. характеризуется вновь ускорением темпов для земель населённых пунктов (до 10,7 %), что совпало с посткризисным ростом цен на жилую недвижимость и реализацией нового порядка ГКО по Федеральному закону № 269-ФЗ [20].

Таблица 2

Среднегодовые темпы роста кадастровой стоимости по периодам, %

Категория земель	2008–2013 гг.	2013–2018 гг.	2018–2022 гг.
Земли населённых пунктов	11,7	7,4	10,7
Земли сельскохозяйственного назначения	12,2	7,1	7,0
Земли промышленности	8,4	3,5	3,6

Статистический анализ выявил высокую степень дифференциации кадастровой стоимости внутри региона [7]. Для земель населённых пунктов разрыв между максимальными (г. Иркутск) и минимальными (отдалённые районы) значениями в 2022 г. составил более чем 35-кратную величину. Средняя стоимость в Иркутске достигла 890 руб/м^2, в то время как в Катангском районе не превышала 25 руб/м^2 [5; 15–17]. Аналогичная, хотя и менее выраженная дифференциация характерна для земель сельскохозяйственного назначения. В наиболее освоенных южных районах (Аларский, Ангарский, Иркутский) средняя кадастровая стоимость в 2022 г. составляла 8,7–12,3 руб/м^2, что в 2–3 раза выше, чем в северных и западных районах области [15]. Данная дифференциация объективно отражает различия в плодородии почв (бонитете) [1; 4], транспортной доступности и развитости агропромышленной инфраструктуры [2].

В ходе анализа сопоставлялись средние значения кадастровой стоимости с индексами рыночных цен на недвижимость, публикуемыми Банком России и аналитическими агентствами [8; 10]. Установлено, что соотношение кадастровой и рыночной стоимости для земель населённых пунктов Иркутской области изменялось следующим образом [5; 18] (табл. 3)

Таблица 3

Кадастровая стоимость в % от рыночной стоимости по годам

2008	2013	2018	2022
68	92	81	79

Снижение соотношения после 2013 г. объясняется активным оспариванием кадастровой стоимости в судах и комиссиях, что привело к её корректировке для значительного числа объектов [3; 19]. Для земель сельскохозяйственного назначения соотношение кадастровой и рыночной стоимости на протяжении всего периода оставалось в диапазоне 45–55 %, что указывает на сохраняющийся потенциал для её увеличения в будущих циклах оценки [9; 18].

С использованием статистических методов была проанализирована эффективность процедур оспаривания кадастровой стоимости. За период 2012–2023 гг. в Иркутской области было подано более 5,2 тыс. заявлений об оспаривании, из них удовлетворено 68 %. Среднее снижение кадастровой стоимости по удовлетворённым заявлениям составило 31 %, что в абсолютном выражении для земель населённых пунктов области соответствовало снижению на 210–450 руб. /кв. м. Наибольшее количество оспариваний приходилось на объекты коммерческой недвижимости и земельные участки под индивидуальное жилищное строительство в пригородной зоне.

Проведённый статистический анализ позволяет подытожить следующее:

1. Кадастровая стоимость земель в Иркутской области за 2007–2024 гг. демонстрировала устойчивый рост, наиболее выраженный для земель населённых пунктов (+273 %) и сельскохозяйственного назначения (+228 %);

2. Динамика носила неравномерный характер: периоды активного роста сменялись этапами стабилизации, что связано с изменениями законодательства, методик оценки и рыночной конъюнктуры;

3. Сохраняется высокая территориальная дифференциация кадастровой стоимости, отражающая объективные различия в экономическом развитии, транспортной доступности и природных условиях районов области;

4. Соотношение кадастровой и рыночной стоимости стабилизировалось на уровне 79 % для земель населённых пунктов, что свидетельствует о повышении достоверности массовой оценки, хотя потенциал для дальнейшего совершенствования сохраняется; статистические данные по оспариванию подтверждают высокую эффективность судебной и досудебной защиты прав собственников, однако указывают на сохраняющуюся системную проблему первоначального завышения стоимости для отдельных категорий объектов.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы 126020516558-5).

Литература

1. Бонитировка почв в системе земельного кадастра / Л. Б. Востокова [и др.]. М. : Макс-ПРЕСС, 2010. 300 с.

2. Варламов А. А. Земельный кадастр: Учебник для вузов. В 6 т. Т. 1. Теоретические основы земельного кадастра. М. : КолосС, 2003. 383 с.

3. Веселова М. Н., Филиппова Т. А., Хоречко И. В. Корректировка кадастровой стоимости земельных участков сельскохозяйственного назначения с учетом экологических условий их использования // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 5. С. 346–359. DOI: 10.55186/25876740-2022-6-5–21

4. Гончиков Б-М. Н. Бонитировка и кадастровая оценка почв Западного Забайкалья (на примере Кижингинской котловины) / Б-М. Н. Гончиков, Ц. Ц. Цыбикдоржиев // Вестник КрасГАУ. 2010. № 9. С. 7–12.

5. Государственная кадастровая оценка земель всех категорий. URL: http://econ.krskstate.ru/gko/2022gko/0/dt/15.12.2022/?undefined&pg=4.html

6. Злотникова В. В., Шпедт А. А. Корректировка кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного использования с учетом природно-ресурсного потенциала агроландшафтов Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2025. № 7 (220). С. 95–104.

7. Клюшниченко В. Н., Тимофеева Н. В. Земельный кадастр : учеб. пособие для студентов. Новосибирск : СГГА, 2011. 141 с.

8. Курбанова З. А. Кадастр недвижимости и мониторинг земель : учеб. пособие. Махачкала : ДГУНХ, 2019. 240 с.

9. Махт В. А., Руди В. А. Основы методики и современные проблемы оценки плодородия почв для кадастровой оценки сельскохозяйственных угодий // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (24). С. 106–112.

10. Мокрушин О. В., Мельдебеков И. Б. Опыт применения методических указаний по государственной кадастровой оценке // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2021. № 1(232). С. 39–48. DOI: 10.24411/2072-4098-2021-10104

11.Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке : приказ Росреестра № П/0336 от 4 авг. 2021 г. URL: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40390019/.

12. Региональный доклад «О состоянии использовании земель в Иркутской области» за 2015 год. Иркутск, 2016. 110 с.

13. Региональный доклад «О состоянии использовании земель в Иркутской области» за 2020 год. Иркутск, 2021. 110 с.
14. Региональный доклад «О состоянии использовании земель в Иркутской области» за 2021 год. Иркутск, 2022. 110 с.
15. Региональный доклад «О состоянии использовании земель в Иркутской области» за 2022 год. Иркутск, 2023. 84 с.
16. Региональный доклад «О состоянии использовании земель в Иркутской области» за 2023 год. Иркутск, 2024. 67 с.
17. Региональный доклад «О состоянии использовании земель в Иркутской области» за 2024 год. Иркутск, 2025. 70 с.
18. Роль государственной кадастровой оценки в налогообложении земель сельскохозяйственного назначения в Красноярском крае / Ю. П. Ковалева [и др.] // Московский экономический журнал. 2020. № 3. С. 3. DOI: 10.24411/2413–046X-2020-10141
19. Сапожников П. М. Основные проблемы при проведении государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2019. № 12 (219). С. 111–115. DOI: 10.24411/2072-4098-2019-11209
20. О государственной кадастровой оценке : федер. закон от 31 июля 2020 г. № 269-ФЗ // КонсультантПлюс : справочная правовая система.

DYNAMICS OF AVERAGE CADASTROLOGICAL VALUES IN THE IRKUTSK REGION

E. P. Laperdin[1], A. A. Kozlova[2]
[1]Irkutsk State University, Irkutsk
[2]V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk
laperdin0404@mail.ru, allak2008@mail.ru

The cadastral value of a land plot is the official land valuation calculated by the state using special formulas that incorporate location, intended use, and other factors, without regard to actual pricing policies in the real estate market. The calculation is performed on a mass scale, without regard to individual property characteristics. Market valuation is the property value determined by the owner, as well as with the participation of a realtor and appraiser. It is determined based on the current situation, the demand for the property, and the surrounding infrastructure. In the Irkutsk Region, state cadastral valuation cycles are regularly conducted, the results of which are publicly available. The value is determined through a state assessment conducted with the participation of independent experts. The decision to conduct the procedure is made by regional authorities or municipalities, which select contractors and enter into contracts with them. The calculated cadastral value of a land plot may differ significantly from the actual market price of the property. In some cases, the cadastral value according to Rosreestr may coincide with certain market trends. However, such cases are relatively rare.

УДК 504.53

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ДОЛИНЫ Р. ЯНЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЗАБРОШЕННОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА БАТАГАЙСКОЙ ОФ № 418

И. Н. Макаров, П. П. Данилов

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск
lek-76@mail.ru, danpp@mail.ru

Актуальность. В районах распространения многолетнемёрзлых пород техногенные объекты горнодобывающей промышленности создают особые экологические ситуации, поскольку холодный климат и слабая биологическая активность замедляют самоочищение ландшафтов, а нарушение растительного покрова приводит к изменению теплового режима почв. Заброшенные хвостохранилища становятся долговременными источниками кислотного дренажа, засоления и тяжёлых металлов. Изучение зональности их воздействия на почвенный покров криолитозоны необходимо для прогноза миграции загрязнителей и обоснования мероприятий по рекультивации.

Цель работы. Оценить изменения составов и свойств почв долины р. Яны в окрестностях заброшенного хвостохранилища Батагайской обогатительной фабрики № 418 (ОФ № 418) в условиях длительного антропогенного воздействия (с 1940-х гг.).

Методы. На основе степени трансформации почв территория разделена на три участка: макро-, мезо- и микроантропогенного воздействия. Проведены морфологическое описание профилей (полевые работы), определение pH водной вытяжки, состава водной вытяжки (засоление), определение подвижных форм тяжёлых металлов (Zn, Cu, Mn, Cd, Co, Ni, Cr) атомно-абсорбционным методом. Сравнение выполнено с локальным фоновым участком (450 м от борта хвостохранилища) и с ПДК химических веществ в почве [4].

Результаты и обсуждение. Участок макроантропогенного воздействия – площадь самого хвостохранилища. Естественный природный ландшафт полностью уничтожен, почвенный покров отсутствует. Поверхность представлена техногенными образованиями, которые согласно «Классификации и диагностики почв России» [3] относятся к группе токсифабрикатов. Хвосты характеризуются кислой средой: водородный показатель pH варьирует от 3,65 до 4,06 ед. Зафиксировано экстремальное и повышенное содержание подвижных форм Zn, Cu, Mn, Cd, Ni. Такие свойства являются следствием окисления сульфидов руд, что закономерно для отходов оловодобывающего производства.

Участок мезоантропогенного воздействия (до 200 м от борта хвостохранилища, северное и северо-восточное направления). Здесь механического нарушения почвенного профиля не произошло, однако растительность угнетена или представлена «мёртвым» покровом. Почвы – химически преобразованные, относятся к антропогенно-преобразованным. Морфологически под лесной подстилкой формируется белесый слой. Предполагаемый механизм: гибель расте-

ний в условиях криолитозоны ведёт к увеличению мощности сезонно-талого слоя, изменению плотности и влажности почвенного материала, что запускает процессы новообразования и перераспределения веществ.

В табл. 1 приведён химический состав почв на расстоянии 80 м от борта северо-восточной части хвостохранилища (максимальное загрязнение).

Таблица 1

Содержание подвижных форм микроэлементов в химически преобразованных почвах (80 м от бортасеверо-восточной части хвостохранилища)

Элемент мг/кг	Среднее содержание в почве, мг/кг	Локальный фоновый участок элементов, мг/кг	Превышение локального фона в N раз	ПДК, мг/кг	Превышение ПДК
Cr	0,94	0,31	3,03	6	-
Co	1,1	0,04	27,5	5	-
Cu	27,96	0,4	69,9	3	9,3
Ni	3,2	1,71	1,87	4	-
Zn	81,62	3,68	22,18	23	3,6
Cd	0,84	0,09	9,3	1	-
Mn	179,8	61	2,95	140	1,3

Как видно из данных табл. 1, наиболее критические превышения ПДК зафиксированы для Cu (в 9,3 раза) и Zn (в 3,6 раза). Также значительно превышен локальный фон по Co (в 27,5 раза) и Cd (в 9,3 раза). Кроме того, для этих почв характерно техногенное сульфатное засоление: степень варьирует от средне- до слабозасоленных [1,2], что совершенно нетипично для природных почв данного района исследований.

Участок микроантропогенного воздействия (от 300 м к северу, а также склоновые позиции и вершина коренного берега южной стороны). Почвенный покров представлен хемоземами – антропогенно-преобразованными почвами начальной стадии трансформации. Изменения затрагивают преимущественно верхние органогенные горизонты. Тип засоления – сульфатный, степень от слабозасоленных до незасоленных. Повышенные концентрации отмечены для Zn, Mn, Co (табл. 2).

Таблица 2

Содержание подвижных форм микроэлементов в хемозёмах (300 м северо-восточнее хвостохранилища

Элемент мг/кг	Среднее содержание в почве, мг/кг	Локальный фоновый участок элементов, мг/кг	Превышение локального фона в N раз	ПДК, мг/кг	Превышение ПДК
Zn	23,4	3,68	6,4	23	-
Mn	513,55	61	8,4	140	3,7
Co	0,213	0,042	5,07	5	-

Обращает на себя внимание высокое содержание подвижного марганца (превышение ПДК в 3,7 раза) при относительном снижении концентраций Zn и Co по сравнению с зоной мезоантропогенного воздействия. Это может свидетельствовать о дифференциальной миграционной способности элементов: Mn мигрирует на большие расстояния, тогда как Cu и Zn осаждаются ближе к источнику.

Полученные данные указывают на активную латеральную миграцию загрязняющих веществ с поверхности хвостохранилища. Сульфатное засоление и кислая реакция хвостов связаны с окислением сульфидов руд. При выносе на прилегающие территории сульфаты и подвижные металлы накапливаются в основном верхних горизонтах почв. Зона мезоантропогенного воздействия (до 200 м) характеризуется наибольшей степенью трансформации: сочетание засоления, подкисления, накопления Cu, Zn, Mn, Cd, Co и морфологической перестройки профиля (белесый горизонт). На расстоянии 300 м интенсивность трансформации ослабевает, однако сохраняется устойчивое превышение фоновых концентраций по ряду элементов (особенно Mn).

Заключение. В долине р. Яны под влиянием заброшенного хвостохранилища Батагайской ОФ сформировалась техногенно-трансформированная зона площадью не менее нескольких гектаров (зона мезо- и микроантропогенного воздействия). Выделены 2 типа антропогенно-преобразованных почв – химически преобразованные почвы и хемозёмы. Химически преобразованные почвы с характеризуются сульфатным засолением и высокими превышениями локального фона по Cu (в 69,9 раза), Zn (в 22,2 раза), Co (в 27,5 раза). В свою очередь хемозёмах выявлены повышенные концентрации Zn, Mn, Co. Кислые и засоленные хвосты (отходы обогащения руд, часто содержащие сульфиды и легкорастворимые соли) действительно являются источниками латеральной миграции тяжёлых металлов, сульфатов и других загрязнителей на прилегающие территории. Ключевым фактором дальнейшей деградации почв в криолитозоне является смена растительного покрова, ведущая к увеличению глубины сезонного протаивания и активизации геохимических процессов. Учитывая также расположение хвостохранилища всего в 300 м от протоки р. Яны, необходим регулярный мониторинг поверхностных вод и донных отложений.

Литература

1. Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.

2. Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института. 1972. Вып. 5. С. 36–42.

3. Классификация и диагностика почв России / авт.-сост. : Л. Л. Шилов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004.

4. СанПиН 1.2. 3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021.

TRANSFORMATION OF THE SOIL COVER OF THE RIVER VALLEYYANA IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE ABANDONED TAILINGS DAM OF BATAGAYSKAYA PROCESSING PLANT No. 418

I. N. Makarov, P. P. Danilov
Northeastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk
lek-76@mail.ru, danpp@mail.ru

The paper presents the results of a study of the transformation of the soil cover of the Yana River valley in the area of the village of Batagai (Republic of Sakha (Yakutia)) under the prolonged influence of the abandoned tailings dump of Batagai Processing Plant No. 418, which has been op-

erating since the 1940s. According to the degree of anthropogenic transformation, the territory is divided into three zones: macro- (the tailings dump itself), meso- (up to 200 m from the side) and micro-anthropogenic impact (from 300 m and beyond). It was found that toxic factories with an acidic reaction of the medium (pH 3.65–4.06) and an extreme content of mobile forms of Zn, Cu, Mn, Cd, Ni were formed at the tailings dump. Chemically transformed soils with morphological profile rearrangement (whitish horizon), sulfate salinity and high local background exceedances in Cu (69.9 times), Zn (22.2 times), and Co (27.5 times) were detected in the mesoanthropogenic impact zone. In the area of microanthropogenic effects, chemozems were diagnosed with an excess of the background in terms of Zn, Mn, Co. It is shown that acidic and saline tailings serve as a source of lateral migration of pollutants.

УДК 631.10

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОЛОГИИ И БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЛИГОНА ТБО ИРКУТСКОГО РАЙОНА

М. С. Миронов, Н. А. Мартынова

Иркутский государственный университет, Иркутск
matveyka.mironov@bk.ru

Микробиом почвы, являясь чутким индикатором состояния территорий, во время своего изучения позволяет оценить антропогенную нагрузку, что приобретает особую ценность для оценки воздействия полигонов ТБО на прилегающие почвы. Было заложено 6 почвенных разрезов на разных участках (Иркутский район, 5-й км Александровского тракта, рис. 1).



Рис. 1. Расположение точек обследования на космическом снимке, заложенных в окрестностях Иркутского полигона ТБО

Были определены типы почв, типы биоценозов, гранулометрический состав почв для получения первичного представления об генезисе типов почв исследуемой катены и проведения последующего сравнения их свойств со свойствами почвы фоновой территории для выявления влияния полигона ТБО и обоснования большей или меньшей их подверженности антропогенному прессу (табл. 1).

Таблица 1

Некоторые почвообразовательные условия исследуемых почв окрестностей полигона ТБО Иркутского района

№ точки; Тип почвы; Фото профиля	Фото биоценоза	Тип биоценоза	Рельеф	Индекс горизонта	Глубина, см	Гранулометрический состав
Эк-1: Серая 		Злаково-разнотравно- папоротниковый зарастающий луг лесной просеки	Приводораздельная часть пологого склона	AY	0–10	с. с. -т. с.
				AEL	10–13	с. с.
				BT	13–25	т. с. - глина
Эк-2: Серогумусовая глеевая 		Вейниково-хвощево-осоковый заболоченный луг с подростом ивы, березы, сосна, ели	Верхняя часть распадка у. вост. части долина	RY	0–10	с. с. опесчанен.
				BCG_{ic}	10 - 30 ниже	л. с. -с. с. опесчанен
Эк-3а: Темногумусовая (натечно-карбонатная) 		Вейниково-хвощево папоротниковый олуговелый сосново-березовый буреломный закустаренный лес со следами пожара	Верхняя пологая часть распадка	AH	0–20	л. с.
				AU_{ppir} линза	3–15	с. с.
				AU (линза)	15–20	с. с. опесчанен.
				ACic	20 - 40 и ниже	с. с.
Эк-4: Темногумусовая глеевая натечно-карбонатная 		Хвощево-папоротниковый с коноплей и разнотравьем олуговелый лес с сухостоем и подростом черемухи, ольхи, яблони.	Средняя часть распадка	AY_{ic}	0–10	с. с.
				$AC_{g,ic}$	10–20	с. с. -т. с.
Эк-5: Глеезем натечно-карбонатный 		Мохово-осоковый с вейником, разнотравьем и мертвым сухостоем березняка с протоками застойной гниющей воды	Нижняя часть распадка	G1	0–15	опесч. л. с.
				G2	15–30	л. с. -с. с.

Также был проведен ряд анализов физико-химических свойств почв и количественный и качественный учет разных групп микроорганизмов в пробах серогумусовых горизонтов, отобранных на 6 участках; каталазная активность газометрическим методом Галстяна; активность протеазы методом Галстяна с фотоколориметрированием; биологическая активность почвы через биотестирование энергии прорастания семян редиса (табл. 2).

Таблица 2

Физико-химические свойства почв окрестностей полигона ТБО Иркутского района

Индекс горизонта	Глубина, см	pH_{H2O} почв. суспензия	Водная вытяжка		Электропроводность, мкСм/см	С, %	Обменные катионы, мг-экв/100г		Подвижный P_2O_5, мг/100г	Активность каталазы, мл O_2 /г*мин	Активность в/к протеазы мкг глицина/г*сутки
			pH $_{H2O}$	Cl^-, мг-экв /100 г			Ca^{2+}	Mg^{2+}			
КЛ-22/1(ф) Серая иллювиально-ожелезненная, СЗ склон, средняя часть											
AO	0–3	6,72	6,02	0,55	185	15,0	38,5	13,5	1,4	2,6	230
AY	3–8	6,01	5,50	0,40	150	5,30	46,1	23,0	14,4	1,5	152
AEL	8–18	6,37	5,53	0,32	77. 5	1,74	39,2	21,6	5,60	0,6	70
BT1f	18–48	6. 12	5,74	0,32	56	0,30	18,9	12,0	3,0	0	40
BT2	48–75	7,18	6,30	0,28	н. о.	0,16	11,8	8,20	13,0	2,6	230
Эк-1(ф): Серая, водораздел											
AY	0–10	6,86	6,28	0,25	332	10,58	39,6	7,92	1. 6	3,7	208
AEL	10–13	5,16	5,84	0,1	278	4,67	15,4	7,7	14. 0	1,4	130
BT	13–25	5,25	6,08	0,3	592	1,27	11	5,5	3. 0	0	120
Эк-2: Серогумусовая глеевая, верхняя часть распадка											
RY	0–10	6,14	6,60	0,4	117,7	0,46	23,5	13,2	3. 0	0,6	124
BCG_{ic}	10–30>	6,17	6,73	0,4	121,2	0,14	21,12	7,92	2. 0	0	60
Эк-3а: Темно-гумусовая (натечно-карбонатная), средняя часть распадка											
AU	0–20	6,67	6,48	0,6	963	13,94	59,4	23,1	2,4	0	200
$AU_{ppir\ линза}$	3–15	7,70	7,21	0,75	2190	5,96	68,2	19,8	28	н. о.	н. о
$AU_{линза}$	15–20	6,98	6,80	0,4	601	4,78	35,2	19,8	16,6	-	240
ACic	20 -40>	7,20	7,10	0,8	343	1,94	28,6	11	1,5	0,8	104
Эк-4: Темно-гумусовая глеевая натечно-карбонатная, средняя часть распадка											
AY_{ic}	0–10	8,15	7,30	0,4	669	8,43	47,52	21,12	21. 8	8,5	180
$AC_{g,ic}$	10–20	7,35	7,04	0,7	471	4,59	41,8	11	14. 5	1,7	128
Эк-5: Глеезем натечно-карбонатный, нижняя часть распадка											
G1	0–15	8,02	7,50	0,4	791	0,68	13,2	7,92	4. 1	0	152
G2	15–30	7,95	7,54	1,7	597	1,61	13,2	11	6. 5	0	152

Анализ почв, подверженных влиянию стоков ТБО, выявил преобладание палочковидных бактерий. Их активность и развитие снижаются вниз по распадку, полностью ингибируясь в глееземах, что указывает на повышение токсичности почв и биоценозов. Этому способствуют подщелачивающее действие стекающих по склонам вод атмосферных осадков и вод, дренирующих полигон ТБО, что приводит к зафосфачиванию, осаждению и накоплению токсичных веществ в нижней части распадка, подтверждаемому как проведенным биотестированием и определением ферментативной активности почв (табл. 2).

Даже фоновые почвы приводораздельной части распадка подвергаются подщелачивающему влиянию полигона ТБО через ветровой перенос пылеватых частиц. В нижних частях распадка экологическое состояние ухудшается сильнее из-за застойного режима и осаждения токсических веществ из водных потоков. Наибольшая устойчивость к загрязнению отмечена у высоко-гумусных, хорошо дренируемых, легко-среднесуглинистых почв средне-склоновых частей распадка. В верхних точках обследования более загрязнены поверхностные горизонты, задерживающие загрязнители. В нижних частях распадка сильнее загрязняются глубинные горизонты.

Проведенный корреляционный анализ полученных результатов (рис. 2) выявил, что среда Эшби, отвечающая за культивирование азотфиксаторов рода *Azotobacter*, имеет отрицательную корреляцию с pH_{H2O}, ионами HCO_3^- и Cl^- (r от –0,58 до –0,64). Чем выше щелочность и засоление, тем хуже растет азотобактер – он весьма чувствителен к реакции среды. В то же время количество *Azotobacter* (среда Эшби) положительно коррелирует количеством общих гетеротрофов (среда РПА), актиномицетов (среда КАА) и процентом проростков семян редиса (r = 0,64–0,71). Так как *Azotobacter* высокочувствителен к питательности среды (а среда Эшби, предназначенная для культивирования олигонитрофильных микроорганизмов, представляет собой водный раствор глюкозы (являющийся источником углерода и энергическим субстратом) и минеральных солей), то можно сделать вывод, что там, где он сохраняется, общая численность микроорганизмов и биологическая активность будет высокой, что и подтверждают наши исследования (семена редиса всходят лучше). Это позволяет рассматривать результаты анализа в среде Эшби как особый индикатор экологического состояния и качества почвы.

Активность каталазы имеет высокую корреляцию с общей микробной массой в почве (r = 0,94) со средой РПА, а микромицеты и грибы (среда Чапека) хорошо коррелируют с показателями плодородия, т. к. их численность почти идеально совпадает со всхожестью редиса (r = 0,97).

Среда Эндо (выявляющая наличие и состояние кишечной палочки) имеет сильную отрицательную корреляцию с результатами по РПА, КАА и активностью каталазы (количеством выделяемого кислорода): r от –0,78 до –0,84. Это можно связать либо с выделяющимися антибиотическими веществами, которые подавляют рост бактерий группы кишечной палочки, или созданием конкурентной среды в зонах с высокой микробной активностью и развитой аэробной микрофлорой, либо с фекальным загрязнением, под влиянием которой развитие естественного микробного сообщества угнетается.

Средняя длина корня проростков редиса отрицательно коррелирует с содержанием хлоридов (r = –0,61), так как хлориды – токсичны для растений, засоление снижает их всхожесть и развитие. Положительная корреляция биологической активности почвы (определяемая по количеству и качеству проростков редиса) с развитием микромицетов на среде Чапека (r = 0,60) подчеркивает важную роль микроорганизмов, в первую очередь грибов, в разложении органики и переводе элементов питания в доступную для растений форму.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		0,6	0,52	0,13	0,2	-0,34	-0,04	-0,46	-0,58	-0,61	0,33	0,35	0,14	0,41	0,34	0,22	0,19
2	0,6		0,88	-0,31	-0,36	-0,27	-0,38	0,09	-0,64	-0,52	0	0,10	0	0,31	0,16	0,02	0,19
3	0,52	0,88		-0,5	-0,55	-0,4	-0,37	0,21	-0,64	-0,61	-0,26	0,23	-0,15	0,12	-0,06	-0,01	0,03
4	0,13	-0,31	-0,50		0,99	0,51	0,63	-0,78	0,71	0,54	0,94	0,09	0,89	0,57	0,75	0,81	0,37
5	0,2	-0,36	-0,55	0,99		0,49	0,6	-0,78	0,65	0,48	0,93	0,18	0,86	0,55	0,76	0,77	0,32
6	-0,34	-0,27	-0,40	0,51	0,49		-0,21	0,14	0,49	0,60	0,22	-0,18	0,75	-0,34	0,83	0,36	-0,39
7	-0,04	-0,38	-0,37	0,63	0,6	-0,21		-0,84	0,68	0,55	0,2	-0,20	0,74	-0,36	0,81	0,35	-0,40
8	-0,46	0,09	0,21	-0,78	-0,78	0,14	-0,84		-0,41	-0,35	-0,61	0,09	-0,42	-0,93	-0,13	-0,79	-0,95
9	-0,58	-0,64	-0,64	0,71	0,65	0,49	0,68	-0,41		0,21	0,42	-0,27	0,50	0,03	0,35	0,44	0,01
10	-0,61	-0,52	-0,61	0,54	0,48	0,60	0,55	-0,35	0,21		0,18	-0,64	0,80	0,19	0,54	0,87	0,38
11	0,33	0	-0,26	0,94	0,93	0,22	0,2	-0,61	0,42	0,18		-0,08	0,45	0,35	0,35	0,27	0,25
12	0,35	0,10	0,23	0,09	0,18	-0,18	-0,20	0,09	-0,27	-0,64	-0,08		0,20	0,70	0,26	0,45	0,26
13	0,14	0	-0,15	0,89	0,86	0,75	0,74	-0,42	0,50	0,80	0,45	0,20		0,21	0,75	0,70	0,38
14	0,41	0,31	0,12	0,57	0,55	-0,34	-0,36	-0,93	0,03	0,19	0,35	0,70	0,21		0,33	0,41	0,55
15	0,34	0,16	-0,06	0,75	0,76	0,83	0,81	-0,13	0,35	0,54	0,35	0,26	0,75	0,33		0,41	0,27
16	0,22	0,02	-0,01	0,81	0,77	0,36	0,35	-0,79	0,44	0,87	0,27	0,45	0,70	0,41	0,41		0,78
17	0,19	0,19	0,03	0,37	0,32	-0,39	-0,40	-0,95	0,01	0,38	0,25	0,26	0,38	0,55	0,27	0,78	

Рис. 2. Корреляционный анализ индикаторных показателей биологической активности почв окрестностей Иркутского полигона ТБО. *1* – $pH_{H2O почв. суспензии}$; *2* – HCO_3^- мг-экв /100 г.; *3* – Cl^-, мг-экв /100 г.; *4* – среда РПА: среднее значение микроорганизмов; *5* – Кол-во клеток м/о в суспензии $*10^7$/1 мл; *6* – среда Чапека: среднее кол-во микромицетов; *7* – среда КАА: среднее кол-во актиномицетов; *8* – среда Эндо: наличие роста+(1)/ отсутствие роста (0); *9* – среда Эшби: наличие роста+(1)/ отсутствие роста (0); *10* – Биотест прорастания, ср. длина корня проростков семян, мм; *11* – активность каталазы (мл O_2/г*мин); *12* – электропроводность, мкСм/см; *13* – содержание Сорг., %; *14* – содержание P_2O_5, мг/100г; *15* – активность протеазы (мкг глицина/ г*сутки); *16* – Ca, мг-экв/100г; *17* – Mg, мг-экв/100 г. **Степени корреляции: слабая (желтым цветом) – ±0,55–0,60; умеренная (зеленым) – ±0,61–80; сильная (красным) – ±0,81–0,99.

APPLICATION OF SOIL MICROBIOLOGY AND BIOTESTING METHODS TO ASSESS SOIL CONDITION UNDER THE IMPACT OF A SOIL LANDFILL IN THE IRKUTSK DISTRICT

M. S. Mironov, N. A. Martynova
Irkutsk State University, Irkutsk, matveyka.mironov@bk.ru

The soil microbiome, a sensitive indicator of the condition of territories, allows us to assess anthropogenic load, which is particularly valuable for assessing the impact of solid waste landfills on adjacent soils. In six soil pits located at different locations along the catena of the ravine near the landfill, we analyzed soil types, texture, microbial communities, catalase and protease activity, and conducted a radish germination bioassay. We found that landfill runoff promotes the growth of rod-shaped bacteria, but their activity decreases downslope and is completely suppressed in gley soils, where toxic substances accumulate due to alkalization. Even background soils in the watershed appear to be affected by wind-blown dust from solid waste landfills. The most resilient soils were high-humus, well-drained light and medium-loamy loams of the middle slope and watershed areas. In valley gullies higher up the slope, the surface soil horizons are more polluted than the lower horizons at greater depth. Correlation analysis showed that nitrogen-fixing bacteria (Ashby medium) are suppressed by increasing alkalinity and salinity, but where they persist, the total microbial count and radish seed germination are higher–making Ashby medium a better indicator of soil ecological quality. Catalase activity closely correlates with the total microbial mass, and the number of micromycetes (Czapek medium) almost perfectly correlates with radish seed germination. Escherichia coli (Endo medium) is suppressed where aerobic microbial activity is high, and chloride toxicity is confirmed by a negative correlation with seed root length.

УДК 631.4

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ПОЧВАХ РЕКУЛЬТИВИОВАННЫХ ОТВАЛОВ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Н. В. Митракова, П. Ш. Сайранова, Е. А. Хайрулина, Н. В. Порошина

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
mitrakovanatalya@mail.ru, sairanova.p@gmail.com, elenakhay@gmail.com, navit1@yandex.ru

Горнодобывающая деятельность является серьезным фактором трансформации ландшафтов, в частности растительного и почвенного покрова [1]. В результате горной добычи образуется значительное количество отходов, которые занимают большие площади, часто не являются химически инертными, т. е. оказывают воздействие на окружающую среду. Так для солеотвалов характерно пыление, т. е. загрязнение воздуха пылью и хлоридами натрия, засоление почв вблизи солеотвалов [2]. Нередко угольные отвалы горят, что приводит к загрязнению воздуха полиароматическими углеводородами [3]. Отвалы от добычи металлических руд являются источниками загрязнения почв и водных объектов тяжелыми металлами [4], а также закисления.

Рекультивация отвалов приводит к снижению негативного воздействия на компоненты экосистем [5]. Чаще всего на отвалах формируют почвенно-растительный слой [6; 7], который является изоляционный слоем [8]. Формирование устойчивого почвенно-растительного покрова снижает водную и ветровую эрозию. Растительный покров способствует накоплению органического вещества и питательных элементов в почвах, формирует благоприятную структуру почв. Благоприятное развитие растительности обусловлено мелиоративными мероприятиями, а именно внесением органических и минеральных добавок. В качестве минеральных добавок могут применяться удобрения и минеральные добавки, изготовленные из отходов производств [9]. Использование вторичных минеральных продуктов из отходов оказывает положительный эффект на экономику замкнутого цикла.

Объекты исследования – литостраты глинистые на рекультивированных отвалах Кизеловского угольного бассейна (КУБ). Добыча угля на КУБе велась почти два века, месторождение ликвидировано в конце XX в. Особенностью углей бассейна является высокое содержание серы, в основном пиритной [10]. Неправильная ликвидация предприятия по добыче, особенности водного режима месторождения и наличие серы в углях привели к возникновению и постоянному изливу кислых вод из шахт [10]. Отвалы также являются источниками кислых вод. Снижение поверхности воздействия вскрышных пород отвалов с атмосферной влагой обусловливает уменьшение количества кислых дренажей.

Проблема рекультивации на КУБе заключается в отсутствии мелиоративных мероприятиях при рекультивации. Рекультивация заключается в отсыпке

на выположенный отвал глинистого материала, в единичных случаях проводят посадку растений. В основном рекультивированный отвал оставляют под самозарастание, которое происходит крайне медленно. Это увеличивает эрозию на отвалах.

Целью исследования является оценка использования магниевого минерального продукта из отхода для улучшения свойств почв на отвалах.

Опыты по использованию магниевого минерального продукта (ММП) проведены в лабораторных условиях. ММП – отход предприятия по производству азотных удобрений, он представляет собой светло-коричневый глинистый продукт, преобладающие фракции 0,05–0,01 мм и 0,1–0,002 мм – 39 % и 23 % соответственно. Массовая доля оксида магния в ММП составляет 20 %, оксида кремния 31 %, оксида кальция 1,5 %, оксида железа 2,5 %; количество нитрат-иона в водной вытяжке около 100 г/кг, pH 8,3.

На литострате глинистом с отвала шахты Шумихинская выращивали кресс-салат в течение 10 дней. Были исследованы несколько доз внесения ММП в пересчёте на MgO. Дозы ММП рассчитывались в пересчёте на содержание MgO по количеству обменного магния в литострате. В исходной почве содержание обменного магния составляло 7 мг-экв/100 г, однократная доза внесения магния высчитывалась таким образом, чтоб количество обменного магния было 12 мг-экв/100 г, т. е. 45 кг ММП на 1 га или 9 кг MgO на 1 га. Остальные дозы рассчитаны как произведение однократной дозы на соответствующий коэффициент.

Измерение pH, определение содержания кальция и магния в водной вытяжке и их обменных форм проведено после выращивания кресс-салата. Кислотность водной и солевой вытяжек определяли по ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26483-85 соответственно, количество кальция и магния в водной вытяжке определяли по ГОСТ 26428-85, содержание обменных кальция и магния по ГОСТ 26487-85. Содержание нитрат-ионов измеряли потенциометрическим методом с использованием нитрат-селективного электрода.

Литострат глинистый имеет нейтральную реакцию среды, pH вод 6,5; pHсол-5,0, количество органического вещества 4,8 %, количество обменного магния и кальция 20 и 7 мг-экв/100 г, содержание подвижной и валовой серы 9 и 680 мг/кг, количество подвижного общего железа 219 мг/100 г. Уровень обеспеченности NPK элементами низкий.

Минеральный магниевый продукт вносили в дозах 1, 3, 4, 7, 10. При увеличении дозы внесения отмечено повышение значения pH (табл.), увеличение содержания кальция в водной вытяжке. Увеличение количества обменного магния отмечается при дозах 7 и 10. При внесении ММП содержание нитрат-ионов возрастает (табл.).

При внесении 4 и 10 доз МПП отмечается достоверное увеличение высоты относительно контрольного варианта (рис.). Увеличение массы отмечено для варианта с внесение 4 доз минерального магниевого продукта (см. рис.).

Таблица

Свойства почв при разных дозах внесения ММП

Доза	pHвод	pHсол	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca обм	Mg обм	NO_3^-
			мг-экв/100 г				мг/100 г
0д	6,5	5,0	0,56	0,50	20,25	7,25	1,56
1д	6,6	5,2	0,56	0,75	20,88	7,00	3,90
3д	7,0	5,7	0,81	0,69	21,25	7,00	4,80
4д	6,8	5,4	0,62	0,50	19,75	7,88	7,37
7д	7,2	6,0	1,00	0,63	20,63	8,25	14,85
10д	7,2	6,1	1,44	0,81	20,63	9,63	29,55

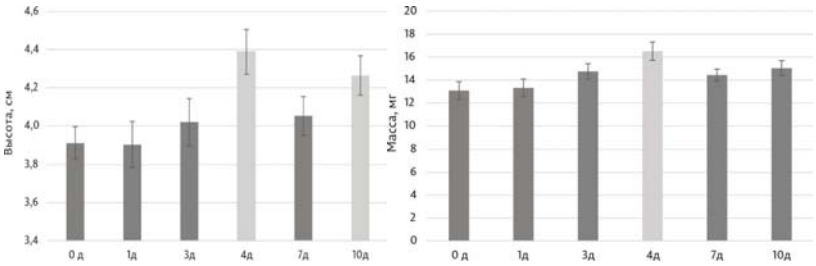


Рис. Высота и масса тест-культуры (светло-серым цветом обозначены показатели, достоверно отличающиеся от контроля-0д)

За 10 дней выращивания не отмечено сильного повышения количества обменного магния, возможно это связано с глинистым характером минерального продукта и для высвобождения магния требуется время, однако количество нитрат-ионов с внесением ММП увеличивается. ММП может выступать как магниевое удобрение пролонгированного действия, а также как источник нитрат-ионов. Необходимо провести долговременный лабораторный эксперимент по выращиванию.

По итогам лабораторного опыта будут проведены полевые опыты по исследованию ММП как мелиоранта на рекультивированных отвалах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект FSNF-2025-0011).

Литература

1. Khobragade K. Impact of Mining Activity on environment: An Overview // International Journal of Scientific and Research Publications. 2020. Vol. 10, Is. 5. P. 784–791. DOI: 10.29322/IJSRP.10.05.2020.p10191

2. Khayrulina E., Ushakova E. Macrocomponent Composition of the Snow Cover in the Large Centre of the Potash Industry, Russia // Zhang Z. et al. Dynamic Evolution of Atmospheric, Ecological, and Hydrological Systems in Circum-Mediterranean Regions. MedGU 2023. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-86777-4_44

3. Soils on overburden dumps in the forest_steppe and mountain taiga zones of the Kuzbass / P. S. Bragina, A. S. Tsibart, M. P. Zavadskaya, A. V. Sharapova // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47, Iss. 7. P. 723–733. DOI: 10.1134/S1064229314050032

4. Setu S., Strezov V. Impacts of non-ferrous metal mining on soil heavy metal pollution and risk assessment // Science of The Total Environment. 2025. Vol. 969, 178962. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178962.

5. Advances in ecological restoration of mining-impacted landscapes: Techniques, case studies, and key challenges / H. Xu, X. Qiao, G. Gao, H. Dou, A. Waheed, A. Aili // Environmental Research. 2026. Vol. 290, 123485. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123485

6. Семина И. С., Андроханов В. А., Куляпина Е. Д. Опыт использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных участков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 9. С. 159–175. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–9-0–159–175.

7. Петров А. А., Саввинов Г. Н., Данилова А. А. Опыт оценки эффективности рекультивации отвалов вскрышных пород коренных месторождений алмазов в Западной Якутии // Почвы и окружающая среда. 2026. Т. 9, № 2. e341. https://doi.org/10.31251/pos. v9i2. 341

8. Химико-экологические свойства почв и индекс NDVI на рекультивированных сернистоугольных отвалах бореальной зоны / Н. В. Митракова, Е. А. Хайрулина, А. А. Перевощикова, Н. В. Порошина, Е. Е. Малышкина, Е. С. Яковлева, Н. А. Кобелев // Горные науки и технологии. 2024;9(4):406–419. https://doi.org/10.17073/2500–0632–2024–04–206

9. Аканова Н. И., Орлов П. М., Недосеко И. В. Агроэкологическая оценка эффективности отхода содового производства в качестве химического мелиоранта для известкования кислых почв // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 3(393). С. 301–305. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_3_301

10. Максимович Н. Г., Пьянков С. В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2018. 288 с.

EFFECTIVENESS OF THE PROPOSED SOIL AMENDMENT ON THE KIZEL COAL BASIN RECLAIMED WASTE DUMPS

N. V. Mitrakova, P. Sh. Sairanova, E. A. Khayrulina, N. V. Poroshina
Perm State University, Perm
mitrakovanatalya@mail.ru, sairanova. p@gmail.com,
elenakhay@gmail.com, navit1@yandex.ru

Reclamation and restoration of land in mining areas are essential stages of environmental management. A relevant aspect is the use of secondary mineral products derived from waste as soil conditioners during the biological phase of reclamation. The study area is the Kizel Coal Basin (KCB) in Perm Krai. The negative environmental impact is caused by acid drainage, including that from waste dumps. Reclamation of these dumps reduces the volume of acid mine waters. The effectiveness of a mineral magnesium product derived from waste, applied as a soil conditioner on soils from reclaimed waste dumps of the KCB, was investigated under laboratory conditions. The magnesium product was applied at a single dose of 45 kg/ha, as well as at doses increased by factors of 3, 4, 7, and 10. With increasing application rates of the magnesium product, a slight increase in soil pH, Ca and Mg content, and nitrate ions was observed. The best condition of watercress plants was recorded after the application of a fourfold dose of the magnesium product.

УДК 631.4

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ «УРАЛ-КАРБОН»

О. А. Некрасова, В. В. Валдайских, Т. А. Радченко

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, o_nekr@mail.ru

Вызовы времени требуют углубленных исследований цикла углерода, в том числе сведений о его запасах в почвах, играющих ведущую роль в секвестрации и эмиссии этого элемента. Около 30 % лесов планеты составляют бореальные леса, поэтому целью данной работы было установление особенностей аккумуляции С в почвах участка южной тайги на территории карбонового полигона «Урал-Карбон» в Свердловской области, на Урале.

Геоботанические и почвенные исследования проведены на участке «Коуровка» полигона «Урал-Карбон». Территория исследования расположена в низкогорьях Среднего Урала, сложена известняками, перекрытыми значительным слоем делювия-элювия, и относится к подзоне южной тайги. Климат умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет 2,0 °С, за год выпадает около 680 мм осадков [5].

Для исследования растительности и почв с учетом основных элементов рельефа полигона были выделены два участка: первый (верхний, участок 1) представляющий собой плоские вершины водораздела и прилегающие к ним пологие склоны (высота над у. м. 290–305 м), второй (нижний, участок 2) – плоские или слабовогнутые участки террасы долины р. Чусовой (высота над у. м. 275–290 м).

В растительном покрове полигона «Урал-Карбон» доминируют зональные приспевающие и спелые лесаIIIбонитета. Древесный ярус представлен преимущественно пихтой (*Abiessibirica*Ledeb.) и елью (*Piceaobovata*Ledeb.), при этом также присутствуют сосна (*Pinussylvestris*L.), лиственница (*Larixsibirica*Ledeb.) и береза (*Betulapubescens*Ehrh.). Сомкнутость крон варьирует от 0,5 до 0,7. При общем сходстве флористического состава и структуры сообщества между верхним и нижним участками имеются различия. Верхний участок характеризуется более высокой долей ели, тогда как в нижней части более обильна пихта и несколько повышена доля высокотравных видов.

Результаты морфологического исследования почв показали, что на глинистом элюво-делювии сформированы почвы с горизонтами O–Ah–E–Bt–BC, которые могут быть классифицированы как дерново-подзолистые [1], а также Luvisols Albic [6]. Однако почвы нижнего участка отличаются от почв верхнего участка большей мощностью гумусового горизонта, имеющего более прочную мелкокомковатую структуру, а также более темной окраской горизонтов Ah и E.

Анализ гранулометрического состава почв обоих участков показал преобладание во всем профиле глинистых частиц. Мелкозем верхних горизонтов представляет собой легкую глину, горизонтов Bt – среднюю глину. Таким образом, почвы верхнего и нижнего участков имеют близкий гранулометрический состав.

Максимальное количество органического углерода в почвах полигона приурочено к горизонтам подстилки и составляет 32–35 %, в гумусовом горизонте оно равно 2,4–5,4 %. Глубже по профилю происходит дальнейшее снижение содержания Сорг., которое тем не менее в нижних горизонтах остается на уровне 0,4–0,5 %. Почвы полигона характеризуются кислой реакцией среды, высоким содержанием подвижных форм фосфора, низким – калия и максимумом накопления обменных ионов кальция и магния в нижней части профиля. В то же время почвы нижнего участка отличаются более высоким содержанием Ca^{2+} и Mg^{2+}, а также более высокими значениями pH.

Запасы органического углерода в почве определяет содержание общего органического углерода в каждом горизонте, их мощность и плотность. Почвы участка 2 статистически значимо отличаются от почв участка 1 большей мощностью гумусового и меньшей мощностью элювиального и текстурного горизонта, а также более высоким содержанием органического углерода в горизонте BC. Плотность аналогичных горизонтов почв между участками полигона варьирует незначительно, возможно вследствие близкого гранулометрического состава.

Запасы органического углерода в разных слоях исследуемых почв представлены в таблице. На первом участке наиболее высокий коэффициент варьирования, достигающий 59 %, имеют значения запасов $C_{орг.}$ в органогенном горизонте, в остальных слоях он составляет 12–14 %. На втором участке коэффициент варьирования в целом несколько выше и для всех слоев почв лежит в пределах 19–24 %.

Средние запасы $C_{орг.}$ в подстилке для всей территории полигона составляют 9 т/га и не имеют статистически значимых различий между участками (табл. 2). В то же время по запасам углерода в слоях, включающих органогенный горизонт вместе с разными толщами минеральных горизонтов (0–30, 0–50 и 0–100 см) между участками имеются значимые различия (табл.). Так, в полных почвенных профилях первого участка сосредоточено в среднем 83 т/га (при разбросе от 67 до 103 т/га) углерода, в то время как в почвах второго участке запасы $C_{орг.}$ составляют значительно большие количества – 139 т/га (при варьировании от 92 до 175 т/га. (табл.).

Запасы органического углерода распределены по профилю почв полигона следующим образом: в органогенном слое сосредоточено в среднем 8–9 % от суммарных запасов углерода, в слое 0–30 см – 69–73 %, в то время как в слое 0–50 см – 86–88 %.

Таким образом, несмотря на различия в абсолютных запасах органического углерода в почвах сравниваемых участков и высокое варьирование значений в пределах каждого участка, запасание $C_{орг.}$ по профилю исследуемых почв имеет сходный характер.

Следовательно, запасы $C_{орг.}$ в различных слоях почв (кроме подстилки) статистически значимо выше в почвах, расположенных ниже по рельефу, прежде всего за счет большей мощности гумусового горизонта нижнего участка, скорее всего обусловленной денудационными процессами.

Таблица

Средние запасы органического углерода (т/га) в почвах разных участков полигона «Урал-Карбон» (среднее ± стандартное отклонение)

Запасы $C_{орг.}$, в слое	Территория		
	Участок 1 n = 12	Участок 2 n = 12	Оба участка n = 24
Органогенный	7,40±4,36a	10,72±2,48a	9,06±3,86
0–30 см	60,69±8,48a	95,54±17,76b	78,11±22,41
0–50 см	73,03±9,07a	119,42±27,22b	96,22±30,90
0–100 см	83,23±11,76a	138,89±33,47b	111,06±37,55

Примечание: разные буквы (a, b) означают статистические различия между участками при $p < 0,05$; одинаковые буквы означают отсутствие значимых различий.

Полученные значения запасов углерода в подстилке почв полигона сопоставимы со средними значениями (8,8–11,3 т/га) для подстилок лесов Среднего Урала [2], а запасы $C_{орг}$. в почвах нижнего участка полигона близки с таковыми (126,4 т/га) для других еловых южнотаежных лесов этой территории [3].

Полученные для почв полигона «Урал-Карбон» значения запасов почвенного углерода в целом согласуются и с имеющимися данными для других территорий. Так, в почвах еловых лесов Болгарии запасы С орг. без учета подстилки в слое 0–30 см в среднем составляют 114 т/га [7], отдельно в Luvisols – 52,3 т/га [9], в аналогичных лесах Швеции запас для слоя 0–100 см оценивается в среднем в 92 т/га [8]. Однако запасы Сорг. в почвах исследованных участков темнохвойного леса оказались значительно ниже средней глобальной оценки для бореальных лесов, равной 195 т/га [4], что, вероятно, связано с характерной для горных условий Среднего Урала относительно небольшой мощностью почвенных профилей.

Расчеты для полигона «Урал-Карбон» выявили, что около 30 % запасов органического углерода в почве локализовано глубже 30 см, что указывает на необходимость учета глубинных слоев при расчетах глобальных запасов углерода. Полученные данные могут быть использованы для моделирования запасов углерода в сходных по условиям формирования почвах старовозрастных южнотаежных темнохвойных лесов, а также при реализации климатических проектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2024-0014).

Литература

1. Классификация и диагностика почв СССР / сост.: В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова, Н. Н. Розова, В. А. Носин, Т. А. Фриев. Москва: Колос, 1977. 224 с.

2. Фирсова В. П., Павлова Т. С. Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах. М. : Наука, 1983. 167 с.

3. Честных О. В., Грабовский В. И., Замолодчиков Д. Г. Углерод почв лесных районов Европейско-Уральской части России // Вопросы лесной науки. 2020. Т. 3, № 2. С. 1–15.

4. Bradshaw C. J. A., Warkentin I. G. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux // Global and Planetary. 2015. Change 128. P. 24–30. https://doi.org/10.1016/j. gloplacha. 2015.02.004

5. Climate Data for Cities Worldwide. 2026. URL: https://en.climate-data.org/asia/russian-federation/sverdlovsk-oblast/kourovka/ (дата обращения: 30.04.2026).

6. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. Vienna : International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria, 2022. 234 p.

7. Kirova L., Stoeva L., Stoyanov T. Soil carbon and nitrogen stocks after thinning in Norway spruce plantations in the Central Balkan Mountains, Bulgaria // Forestry Ideas. 2025. Vol. 31, Special Iss. 2. P. 74–88.

8. Soil organic carbon in Swedish spruce and pine forests – differences in stock levels and regional patterns / Stendahl J., Johansson M. B., Eriksson E., Nilsson A., Langvall O. // Silva Fennica. 2010. Vol. 44, N 1. P. 5–21. https://doi.org/10.14214/sf.159

9. Stoeva L., Kirova L. Assessing the carbon stock changes in forest soils in Bulgaria // Silva Balcanica. 2021. Vol. 22, N 3. P. 69–78. https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.22.e76252

CARBON STOCKS IN SOILS OF SUPERSITE ‘URAL-CARBON’ IN SVERDLOVSK REGION

O. A. Nekrasova, V. V. Valdayskikh, T. A. Radchenko
Ural Federal University, Yekaterinburg, o_nekr@mail.ru

This work is devoted to determining soil organic carbon stocks (SOCS) in a dark coniferous southern taiga forest within the Ural-Carbon supersite. Two sites were identified within the polygon for investigating taking into account their relief position. The study of the upper and lower sites revealed differences in the proportions of the dominant tree species, *Abies sibirica* Ledeb. and *Picea obovata* Ledeb. The soils (Luvisols) of the lower site differ from those of the upper site in having a more intense colour, and thicker humus horizon, as well as a higher content of calcium and magnesium ions and a less acidic pH. SOCS are statistically significantly higher in the soils located at lower relief position (on average 139 t/ha vs. 83 t/ha in the entire soil profile), primarily due to the greater thickness of the humus horizon. The pattern of carbon accumulation down the soil profile is similar across the different sites: the 0–30 cm layer contains on average 69–73 % of SOCS, while the 0–50 cm layer contains 86–88 %. The data on carbon stocks in soils of supersite ‘Ural-Carbon’ can be useful for modelling of SOCs in old-growth dark coniferous forests.

УДК 635.655:631.8

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНО-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОЗИТА АЛАРФЕСТ В ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ НА ПРИМЕРЕ СОИ (GLYCINE MAX (L.) MERR.)

В. В. Никитина, Т. В. Локалина

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
nvasilisa2004@yandex.ru

В настоящее время повышенный интерес уделяется различным сорбирующим композитам, которые могут помочь в управлении водными ресурсами и обеспечении долгосрочной жизнеспособности растений. Исследуются возможности улучшения характеристик данных композитов за счет внедрения в их состав удобрений, микробиологически активных добавок и т. д. Предполагается, что урожайность сельскохозяйственных культур увеличится вследствие равномерного и систематического высвобождения питательных веществ и воды из модифидированных адсорбентов в течение всего вегетационного периода. Однако, несмотря обширные перспективы использования данных композитов, их внедрение в промышленное производство растениеводческой продукции ограничено вследствие отсутствия научно обоснованных рекомендаций их использования.

Цель работы – оценить влияние ПММ Аларфест в качестве мелиоранта на структуру урожая сои, выращенной в климатических условиях Московского региона РФ.

Объектом исследования выступил полимерно-минеральный материал (ПММ) Аларфест, разработанный НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова. В сухом состоянии Аларфест представляет собой мелкодисперсный порошок, который в производственных условиях можно вносить в почву туковыми сеялками совместно с гранулированными или порошкообразными минеральными удобрениями. При увлажнении превращается в вязкую коллоидную систему, которая не утрачивает своих свойств в течение длительного времени, а при последующем высыхании на воздухе образует кружевные структуры (рис.). В растворах солей ПММ Аларфест практически не удерживает влагу [1].



Рис. Кружевная структура ПММ Аларфест

Отличительной особенностью Аларфеста от других комплексных материалов с полимерами является наличие минерала цеолит, составляющего основную массу. Цеолит в составе Аларфеста относится к кремниевым цеолитам, которые, главным образом, проявляют свойства сорбента. Полимер в составе препарата – полиакрилат (полиакриламид).

В 2025 г. на экспериментальной площадкехозяйства ООО АПК «Племзавод Ямской» (Домодедовский район, Московская область) был заложен полевой опыт в двух вариантах: контроль и внесение Аларфеста в дозе 200 г/м^2. Площадь рабочего участка – 1 га. Культура – соя (Glycine max (L.) Merr.), сорт Аляска.

Почва на экспериментальной площадке была определена как агродерново-подзолистая среднепахотная неглубокоосветленная среднесуглинистая на покровном суглинке, подстилаемом мореной. Агрохимические показатели: pH_{H2O}– 7,4 ед., $C_{орг}$ – 1,60 % (пересчет на гумус – 2,75 %), P_2O_5 – 945,45 мг/кг, K_2O – 741,63 мг/кг. Низкая кислотность и высокая обеспеченность почвы элементами питания может быть связана близким залеганием карбонатных пород, а также внесением в течение нескольких лет больших доз куриного помета.

Культура-предшественник – рапс яровой. Система обработки: осень – лущение и вспашка; весна – вспашка и культивация; после посева – прикатывание. Способ посева – узкорядный с междурядьем 15 см. Норма высева – 600 тыс. шт/га. Вегетационный период составил 107 дней, его можно охарактеризовать как близкий к избыточно увлажненному, ГТК = 1,46. Сумма активных температур составила 1935,10°С.

Для подсчета применяли метод учетных площадок. В каждом варианте опыта накладывали по 10 квадратных рамок площадью 0,25 м^2. В полученном с разных вариантов урожае сои сорта Аляска оценивали следующие показатели: урожайность, масса корней растений с 1 м^2, высота растений, число бобов на 1 растении, масса семян с 1 растения, масса 1000 семян.

Статистическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова с помощью пакетов программ MS Excel 2016 и R.

При внесении Аларфеста средняя урожайность сои составила 46,3±3,2 ц/га, что в 2 раза превысило урожайность, полученную в контрольном варианте – 21,8±4,9 ц/га. Полученное значение превышает средний показатель урожайности сои сорта Аляска, который составляет 21,2 ц/га.

Значение массы корней сои в контроле варьировало от 72,6 до 135 г/м^2 (в среднем 89,9±6,9 г/м^2); при внесении Аларфеста – от 74 до 228 г/м^2 (в среднем 137,7±13,3 г/м^2). Средние значения данных показателей статистически значимо различаются.

Высота растений сои при внесении Аларфеста значимо уменьшилась, по сравнению с контролем. В контрольном варианте значения данного показателя варьировали от 92 до 117 см; среднее значение составило 110±2,3 см. При внесении Аларфеста высота растений сои варьировала от 93 до 108 см; среднем – 99±1,7 см.

Число бобов на растениях в контроле варьировало от 12,3 до 20,4 шт и в среднем составляло 16,4±5,2 шт. В варианте с Аларфестом – от 24,2 до 45,6 шт, в среднем – 32,3±10,1 шт. Различия между средними статистически значимы.

Масса семян с одного растения в контроле варьировала от 4,81 до 8,62 г и в среднем составляла 6,31±0,35 шт. В варианте с Аларфестом – от 7,48 до 17,68 г, в среднем – 12,69±1,00 шт. Различия между средними статистически значимы.

Показатель массы 1000 семян составил в контроле 141,2 г, при внесении Аларфеста 189,2 г.

Внесение Аларфеста благоприятно сказалось на развитии растений сои сорта Аляска: наблюдалось увеличение урожайности, массы корней, числа бобов и массы семян с одного растения. Важно отметить, что в опыте использовался сорт сои, рекомендованный к возделыванию в Центрально-Черноземном регионе, а не Центральном, к которому относится Московская область. Отмечено, что интродукция выведенных в южных широтах сортов сои в более северные регионы часто влечет за собой существенное сокращение вегетационного периода, что заметно сказывается на структуре урожая соя [3; 4]. Этим объясняется низкое значение показателя массы 1000 семян в контрольном варианте, по сравнению с сортовым значением равным 150,7 г, а также достаточно большая высота растений сои.

В условиях проведения опыта на высоту растений также могли повлиять неблагоприятные погодные условия в Московской области в начале периода вегетации, которые способствовали активному апикальному росту растений сои, что, в свою очередь, препятствовало боковому ветвлению и закладке плодов. В варианте с внесением Аларфеста растения в целом имели высоту в пределах сортовых значений (75–105 см) и значительно меньшую высоту, по сравнению с контрольным вариантом. Это говорит о том, что ПММ Аларфест может нивелировать негативное влияние водного стресса, обусловленного погодными условиями, в течение вегетационного периода.

Таким образом, использование Аларфеста в качестве мелиоранта весьма перспективно, особенно в регионах с неустойчивым увлажнением при возделывании сортов, не полностью адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям.

Литература

1. Никитина В. В. Изучение водорегуляторных свойств полимерно-минерального препарата Аларфест в лабораторных условиях // Сборник трудов Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием X Вильямсовские чтения к 160-летию Российского государственного аграрного университета МСХА имени К. А. Тимирязева, 27–29 нояб. 2025 г. / под ред. В. Д. Наумова. М. : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2025. С. 329–334.

2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

3. Лукомец В. М., Зеленцов С. В., Мошненко Е. В. Экзогенная регуляция фенотипического проявления признака фотопериодической чувствительности у сои // Масличные культуры. 2022. № 4 (192). С. 35–52. DOI: 10.25230/2412–608X-2022–4-192–35–52

4. Тевченков А. А., Федорова З. С. Оценка пригодности различных сортов сои к возделыванию в условиях Центрального района Нечерноземья РФ // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 6. С. 796–804. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.796-804

EFFECTIVENESS OF THE POLYMER-MINERAL COMPOSITE ALARFEST IN A FIELD EXPERIMENT ON SOYBEAN (GLYCINE MAX (L.) MERR.)

V. V. Nikitina, T. V. Lokalina
Lomonosov Moscow State University, Moscow nvasilisa2004@yandex.ru

Nowadays, the problem of plant nutrition and water supply has raised interest in polymer-mineral composites. The characteristics of these composites can be improved by introducing fertilizers and microbiologically active additives into their composition. It is expected that crop yields will increase due to the systematic release of nutrients and water from the modified adsorbents throughout the growing season. The aim of this study is to evaluate the effect of the polymer-mineral material Alarfest on the yield structure of soybean (Glycine max (L.) Merr.) under field conditions of the Moscow region. The polymer-mineral material (PMM) Alarfest was synthesized by the Research Institute of Mechanics of Lomonosov Moscow State University. The preparation is a fine powder composed of a silicon zeolite and polyacrylate (polyacrylamide). A field experiment was conducted in 2025 with two treatments: control and Alarfest applied at 200 g/m². The soil was an agro-soddy-podzolic soil (pH 7.4) with high phosphorus and potassium content. The test-crop was soybean, variety Alaska. The growing season lasted 107 days and was close to excessively wet conditions (hydrothermal coefficient 1.46). The results of the experiment showed that PMM Alarfest increased the average soybean yield twofold (46. 3 c/ha vs. 21.8 c/ha in the control). Root mass rose from 89.9 to 137.7 g/m², the number of pods per plant increased from 16.4 to 32.3, and seed mass per plant increased from 6.31 to 12.69 g. Plant height decreased significantly under Alarfest (99 cm vs. 110 cm in the control). The 1000-seed weight in the Alarfest treatment (189.2 g) was higher than in the control (141.2 g). Overall, Alarfest had a beneficial effect on the development of soybean plants of the Alaska variety. The low thousand seed weight in the control variant may be related to using a southern variety in a more northern region. In conclusion, PMM Alarfest mitigated negative effects of water stress during the growing season. These findings emphasize the potential of Alarfest as an ameliorant in regions with unstable moisture, especially when cultivating varieties that are not fully adapted to local soil and climatic conditions.

УДК 631.474

ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ КУДИНСКОЙ ДЕПРЕССИИ И МЕТОДЫ ИХ МЕЛИОРАЦИИ

П. Ю. Петухова

Иркутский государственный университет, Иркутск
polina_p03@mail.ru

Современное состояние почвенного покрова территорий, активно используемых в сельском хозяйстве, характеризуется прогрессирующей деградацией, обусловленной комплексом природных и антропогенных факторов. Кудинская депрессия – уникальное геоморфологическое образование в южной части Иркутской области – служит наглядным примером таких процессов. Здесь замкнутая форма котловины формирует особый микроклимат с температурными инверсиями, недостаточным увлажнением (350–450 мм осадков в год, из которых 70–75 % выпадают в тёплый период) и частыми засухами, а сложный рельеф создаёт высокую пространственную неоднородность почвенного покрова [4; 13]. Интенсивное землепользование без учёта научно обоснованных мелиоративных мероприятий привело к развитию множества деградационных процессов, что делает актуальной комплексную эколого-мелиоративную оценку почв для обоснования дифференцированных мер по восстановлению их продуктивного потенциала [10].

Цель настоящей работы – дать эколого-мелиоративную оценку на основе анализа морфологических, физических и химических свойств почв, а также разработать практические рекомендации по мелиорации. Для этого были собраны и систематизированы фондовые материалы по 28 почвенным разрезам, заложенным в разные годы (1968–2020) на ключевых элементах рельефа: террасах реки Куды, пойме, склонах увалов и водоразделах. Все почвы объединили в три группы по условиям увлажнения и положению в рельефе. Первая группа – недренированные почвы поймы и заболоченных понижений с уровнем грунтовых вод 1–2 м (аллювиальные лугово-болотные, регосоли). Вторая – дренированные почвы надпойменных террас и пологих склонов с залеганием грунтовых вод 5–10 м (чернозёмы южные, выщелоченные, лугово-чернозёмные). Третья – хорошо дренированные почвы бортов депрессии, вершин увалов и верхних частей склонов с глубиной грунтовых вод более 20 м (светло-серые лесные, дерново-карбонатные, дерновые лесные) [4; 8]. Для каждого типа оценивали содержание гумуса, реакцию среды (pH_{H2O}), гранулометрический состав, сумму обменных оснований Ca и Mg, засоление, плотность, пористость и уровень грунтовых вод.

На изученной территории наиболее распространены водная эрозия на склонах круче 3–5° [Галаян, 2018], дефляция на лёгких почвах [Алахвердиев, Набиев, 2017], вторичное засоление на орошаемых участках при нарушении технологии полива [Лопатовская, 2018], переуплотнение тяжелосуглинистых почв под действием тяжёлой техники [Канделя и др., 2019] и дегумификация

из-за истощительного земледелия [1–3, 9, 11]. Каждый из этих процессов имеет свои причины и проявляется на определённых типах почв. Например, водная эрозия особенно активна на южных склонах, где снеготаяние идёт быстрее, а растительный покров менее сомкнут; дефляция угрожает супесчаным и легкосуглинистым разностям; вторичное засоление развивается в условиях испарительного режима при подъёме минерализованных грунтовых вод; переуплотнение характерно для переувлажнённых тяжелых почв, а снижение гумуса отмечается повсеместно при интенсивном сельскохозяйственном использовании.

Наиболее благоприятные для сельского хозяйства свойства выявлены у почв второй группы – чернозёмов на террасах и пологих склонах. Содержание гумуса в их пахотных горизонтах колеблется от 3 до 11,1 %, реакция среды нейтральная или слабощелочная, гранулометрический состав средне- и тяжелосуглинистый, что обеспечивает хорошую влагоёмкость. Сумма обменных оснований высокая (кальций 30–40, магний 5–10 ммоль/100 г), гидролитическая кислотность низкая (2–6 ммоль/100 г), насыщенность основаниями превышает 80 %. Плотность сложения в корнеобитаемом слое составляет 1,0–1,3 г/см³, пористость – 47–52 % [6]. Основные лимитирующие факторы здесь – слабая солонцеватость на отдельных участках и недостаток влаги в засушливые периоды.

Почвы третьей группы, занимающие вершины увалов и верхние части склонов, существенно различаются по плодородию. Светло-серые лесные почвы имеют низкое содержание гумуса (1,0–1,5 %), кислую или слабокислую реакцию (pH 5,5–6,8), небольшую сумму обменных оснований (10–20 ммоль/100 г) и повышенную гидролитическую кислотность (4–8 ммоль/100 г) [5]. Они требуют известкования и внесения органических удобрений. Дерново-карбонатные почвы, напротив, характеризуются нейтральной или слабощелочной реакцией (pH 7,5–8,4), гумусированность в 3–6 %, высоким содержанием обменного кальция (20–30 ммоль/100 г) и насыщенностью основаниями 85–95 %, но на супесях они страдают от низкой влагоёмкости. Все почвы этой группы хорошо дренированы, засоления не наблюдается, плотность и пористость находятся в оптимальных пределах.

Наиболее сложная ситуация складывается в первой группе – на пойменных и заболоченных почвах. Здесь содержание гумуса очень высокое (от 7,8 до 14 %), реакция среды нейтральная или слабощелочная (pH 7,5–8,1), гранулометрический состав варьирует от супесчаного до тяжелосуглинистого. Однако эти почвы сильно засолены: сухой остаток водной вытяжки достигает 1,3–2,7 %, сумма токсичных солей (хлориды, сульфаты, иногда сода) составляет 0,6–1,6 %, что относит их к средним и сильным солончакам [Карнаухов, 1979]. Кроме того, они переуплотнены (плотность 1,3–1,5 г/см³), имеют низкую пористость (30–40 %), в глеевых горизонтах наблюдается избыточное увлажнение и запах сероводорода. Без коренной мелиорации эти земли непригодны для пашни, но могут использоваться как сенокосы или пастбища с подсевом солеустойчивых трав.

Исходя из полученных характеристик, были предложены дифференцированные мелиоративные мероприятия. Для чернозёмов второй группы достаточ-

но поддерживающих агроприёмов – внесения органических удобрений, снегозадержания и противоэрозионной защиты. На участках с признаками солонцеватости рекомендуется гипсование в дозе 3–5 т/га. Для кислых серых лесных почв третьей группы необходимо известкование (4–6 т/га) и регулярное внесение органики; дерново-карбонатные почвы в химической мелиорации не нуждаются, но требуют защиты от эрозии и мероприятий по накоплению влаги (агролесомелиорация, террасирование). Почвы поймы первой группы требуют комплексного подхода: осушения, промывки от солей, гипсования и фитомелиорации с посевом солеустойчивых трав [7; 8]. Их вовлечение в пашню экономически нецелесообразно из-за высокой стоимости работ и сохраняющегося риска вторичного засоления.

Для облегчения выбора конкретных мер разработана многофакторная матрица мелиоративных рекомендаций (табл.). В ней учтены шесть ключевых факторов: гранулометрический состав, содержание гумуса, сумма обменных оснований (Ca^{2+}+Mg^{2+}), рельеф, уровень грунтовых вод и их минерализация [9; 12]. В зависимости от сочетания этих параметров каждому участку присваивается одна из трёх цветовых категорий: зелёный – мелиорация рекомендована и эффективна; жёлтый – возможна, но требует дополнительного контроля (организация дренажа, подбор солеустойчивых культур, корректировка полива, известкование или гипсование); красный – не рекомендована из-за риска деградации, засоления или эрозии. Белый цвет означает отсутствие необходимости в мелиорации. Апробация матрицы на 11 разрезах с известными характеристиками показала, что орошение целесообразно для хорошо дренированных почв с глубокими грунтовыми водами и лёгким составом, но недопустимо на тяжёлых и недренированных землях. Осушительные мероприятия обязательны при уровне грунтовых вод менее 2 м. Противоэрозионная защита показана на всех склонах и ложбинах стока. Химическая мелиорация (гипсование) назначается при солонцеватости, известкование – при очень низкой сумме обменных оснований. Фитомелиорация эффективна на переувлажнённых и засолённых участках, а органические удобрения – при содержании гумуса ниже 4 %.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает необходимость дифференцированного подхода к мелиорации почв Кудинской депрессии. Наиболее ценными для сельского хозяйства являются чернозёмы террас и пологих склонов, тогда как пойменные засоленные почвы требуют сложных и затратных преобразований, а лесные почвы бортов депрессии – химической мелиорации и противоэрозионной защиты [10]. Разработанная многофакторная матрица может служить практическим инструментом для землепользователей и проектировщиков при планировании мелиоративных мероприятий, позволяя быстро оценить целесообразность и вид необходимого воздействия на основе доступных полевых и лабораторных показателей. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий и восстановления продуктивного потенциала почв в регионе.

Таблица

Многофакторная матрица по принятию решений о мелиорации

		Гранулометрический состав				Содержание гумуса				Обменные основания, мг-экв/100 г			
		супесь	легкосуглинистый	среднесуглинистый	тяжелосуглинистый	<2	4-6	6-10	>10	<20	20-40	40-60	>60
Рельеф	терраса	орош.	орош.	орош.	противоэроз.	орг. уд.	поддерж.	орош.	орош.	известк.	норма	хим.	норма
	пойма	осущ.	осущ.	осущ.	осущ.	орг. уд.	фитомел.	фитомел.	фитомел.	гипсов.	норма	осущ.	-
	склон увала	противоэроз.	противоэроз.	противоэроз.	противоэроз.	орг. уд.	поддерж.	удобр.	противоэроз.	хим.	норма	хим.	норма
	подножье склона	противоэроз.+ осущ.	комплексная	комплексная	риск переувл.	орг. уд.	фитомел.	фитомел.	противоэроз.	гипсов.	норма	хим.	хим.
Уровень грунтовых вод, м	0,5-3	орош.	орош.	орош.	орош.	орг. уд.	фитомел.	фитомел.	фитомел.	хим.	норма	осущ.	осущ.
	3-5	орош.	орош.	орош.	орош.	орг. уд.	норма	контр. полива	контр. полива	известк.	норма	норма	осущ.
	5-10	орош.	орош.	орош.	орош.	удобр.	норма	норма	норма	известк.	норма	орош.	норма
	10-20	орош.	орош.	орош.	орош.	удобр.	норма	норма	норма	хим.	норма	орош.	норма
Минерализация грунтовых вод, г/л	до 0,5	орош.	орош.	орош.	орош.	удобр.	норма	норма	норма	известк.	норма	норма	норма
	0,5-1	орош.	орош.	орош.	орош.	удобр.	фитомел.	из	фитомел.	гипсов.	хим.	хим.	хим.
	1-2	орош.	орош.	орош.	орош.	удобр.	фитомел.	фитомел.	фитомел.	гипсов.	хим.	хим.	хим.
	до 3	орош.	орош.	орош.	орош.	орг. уд.	фитомел.	фитомел.	фитомел.	гипсов.	гипсов.	хим.	-

Литература

1. Алахвердиев Ф. Д., Набиев О. С. Исследования механизмов дефляции в Северо-Западном Прикаспии индикационными методами для целей охраны и оптимизации почвенных ресурсов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2017. С. 90–95.

2. Галаян Л. В. Использование данных дистанционного зондирования для изучения динамики развития овражно-балочной сети (на примере ключевых участков Балтийского района Саратовской области). Саратов, 2018. 12 с.

3. Переуплотнение почв – один из важнейших факторов ее деградации / М. В. Канделя, Н. М. Канделя, В. Л. Земляк, И. В. Бумбар // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 3 (51). С. 11.

4. Карнаухов Н. И. Краткая мелиоративная характеристика почв долины реки Куды в пределах Эхирит-Булагатского района Иркутской области // Краткие сообщения о научно-исследовательских работах за 1960 год (Приложение к отчету о научно-исследовательской работе за 1960 год). Иркутск, 1962. С. 160–164.

5. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Наука, 1977. 224 с.

6. Козлова А. А. Физика почв. Ч. 1. Лекционный курс : учеб. пособие. Иркутск. : Изд-во ИГУ, 2012 – 231 с.

7. Лопатовская О. Г. Эколого-мелиоративная характеристика почв Кудинской депрессии // Acta Biomedica Scientifica, 2006. № 2. С. 67–71.

8. Лопатовская О. Г. Педогалогеохимические и эколого-мелиоративные особенности почв в долине реки Куды // Вестник ИрГТУ. 2006а. № 1. С. 120–126.

9. Лопатовская О. Г. Эколого-мелиоративная характеристика почв Кудинской депрессии // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. 2006б. № 2 (48). С. 67–71.

10. Лопатовская О. Г. История изучения засоленных почв в Предбайкалье // Историко-биологические исследования. 2018. Т 10. № 3. С. 57–73.

11. Лопатовская О. Г. Почвенно-мелиоративные условия Кудинской депрессии // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2023. Т. 43. С. 59–65.

12. Органическое удобрение – эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор ее супрессивности / М. С. Соколов, Ю. Я. Спиридонов, А. П. Глинушкин, Е. Ю. Торопова // Достижения науки и техники АПК, 2018. № 1. С. 4–12.

13. Сугаченко А. А., Лопатовская О. Г. Основные принципы и положения составления эколого-мелиоративного районирования почвенного покрова Предбайкалья // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 23. С. 78–86.

14. Угланов И. Н. К геоморфологии бассейна реки Куды // Бюллетень кратких научных сообщений. Благовещенск, 1957. С. 10–11.

ECOLOGICAL AND RECLAMATION CHARACTERISTICS OF SOILS OF THE KUDINSKAYA DEPRESSION AND METHODS OF THEIR RECLAMATION

P. Y. Petukhova
Irkutsk State University, Irkutsk, polina_p03@mail.ru

This article presents the results of an ecological and meliorative assessment of soils in the Kudinskaya Depression (Irkutsk Region) – an area with a sharply continental climate and complex topography, where long-term agricultural use has led to the development of water erosion, deflation, secondary salinization, compaction, and dehumification. Based on the systematization of archival materials from 28 soil profiles, three soil groups were identified: undrained floodplain soils (with a groundwater level of 1–2 m), terrace and gentle slope soils (groundwater level of 5–10 m), and depression slope soils (groundwater level >20 m). It is shown that chernozems of the second group possess the highest fertility and favorable hydrophysical properties, while floodplain soils are highly saline and compacted, and forest soils of the depression slopes require liming and organic fertilizers. Differentiated reclamation measures are proposed for each group: from supportive agricultural practices and chemical reclamation to integrated drainage, leaching, and phytomelioration. A multifactorial matrix of reclamation recommendations has been developed, integrating particle size distribution, humus content, exchangeable bases, topography, and groundwater level and mineralization. The matrix allows land users to quickly determine the feasibility and type of reclamation, which serves as a basis for optimizing land use and restoring the productive potential of soils in the region.

УДК 004.9:631.4

ПРОДУКЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ПОЧВЕННЫМ ПОКРОВОМ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

А. А. Романова, И. О. Алябина

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
romalina96@yandex.ru

Актуальность изучения динамики распределение вещества и энергии в экосистеме растет в связи с заметными изменениями климата в настоящее время. Отслеживать влияние атмосферы на другие компоненты большого круговорота веществ можно посредством анализа и мониторинга взаимодействия растительного покрова с педосферой, которое может осуществляться через показатели продуктивности растительности. Продуктивность – это способность живых организмов производить, трансформировать и консервировать органическое вещество. Одними из важнейших ее показателей является фитомасса и продукция, которые определяются в надземной и подземной частях фитоценоза по отдельности и в совокупности. Фитомасса – количество живого органического вещества, накопленное к данному моменту в надземной и подземной сферах растительного сообщества. Продукция – количество органического вещества, создаваемое за год в подземном и надземном блоках экосистем, отражающее степень распределения и изменения органического вещества во времени и пространстве. Измеряются показатели продуктивности в т/га или в т/га/год соответственно.

Целью научной работы является составление картографической таблицы на территорию произрастания широколиственных лесов Нечерноземной зоны России на основе переноса показателей из точечной Базы данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии» в границы полигональных объектов Карты растительности СССР масштаба 1:4000000 при помощи геоинформационных систем (ГИС), а также построение ряда карт продукционных характеристик.

Материалами для работы стали:

1) База данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии», основанная на материалах полевых исследований 1970–90-х гг., которые были собраны сотрудниками лаборатории биогеографии Института географии РАН [7];
2) Карта растительности СССР масштаба 1:4000000 (1990) [6];
3) Карта «Биомы России» масштаба 1:7500000, электронная версия (2018) [4].

Основной программой для обработки данных является ГИС Аксиома v.7.1, вспомогательной – MS Excel.

Территория изучения охватывает четыре биома Восточно-Европейской равнины, где произрастают широколиственные леса в условиях умеренно-континентального климата. Биомы гемибореальных широколиственно-хвойных и мелколиственных лесов (Смоленско-Приволжский (№ 23) и Вятко-Камский

(№ 24)) характеризуются господством дерново-подзолистых почв на суглинистых моренных отложениях. В растительном покрове широко распространены массивы темнохвойных лесов бореального типа. Также в древостое в качестве производной растительности участвуют березовые и осиновые сообщества, обеспечивающие более 50 % лесистости территории. Луговая растительность занимает около 35 % от общей площади. Биомы широколиственных лесов и лесостепи (Днепровско-Приволжский (№ 27) и Заволжский (№ 28)) располагаются в зонах развития серых лесных почв на западе и оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов на юго-востоке, подстилаемых лессовидными суглинками и глинами. Растительный покров представлен преимущественного лугово-степной растительностью (37 % от общей площади биома), а также дубово-липовыми лесами (от 10 до 20 % территории биома) с участием клена и ясеня и их производными мелколиственными сообществами, широкое распространение которых обусловлено условиями постоянного антропогенного воздействия. Лесистость биомов лесостепи в среднем составляет 15 % [2; 4].

В основе построения карт продукционных характеристик растительности лежит алгоритм перевода числовых значений показателей из точечной Базы данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии» в контуры полигонов Карты растительности СССР. При помощи экспертного соотнесения типов растительности проводится усреднение значений продукционных показателей из Базы данных, которые попали в объекты Карты растительности, сгруппированных по четырем рассматриваемым биомам. Присвоение полученных усредненных продукционных характеристик полигонам Карты растительности осуществлялось путем создания объединенной атрибутивной таблицы при помощи SQL-запроса. Для контуров растительных ассоциаций, оказавшихся на пересечении границ нескольких биомов производился пересчет значений продукционных показателей в соответствии с занимаемой ими площадью на территории каждого из биомов.

Построен ряд тематических карт по шести продукционным показателям (общая, надземная и подземная фитомасса и продукция) растительного покрова на основе атрибутивной таблицы, составленной в ГИС по ранее рассмотренной методике. Интервалы значений для карт выбраны в соответствии с основными типами растительности, занимающих территорию биомов.

Параметр общей фитомассы оказался в диапазоне 13,4–272,8 т/га (рис. 1). Расположенные в северной части территории южнотаежные и подтаежное леса и формирующиеся в овражно-балочных сетях и речных долинах производные леса характеризуются общей фитомассов в интервале 60–270 т/га. На севере биомов № 27 и 28 господствуют темнохвойные леса вне бореальной области, обладающие максимальной массой органического вещества (270–280 т/га), которое резко уменьшается при смене древесной растительности на луговые степи и остепненные луга (13–22 т/га). Промежуточные значения параметра (22–60 т/га) характеризуют болотные сообщества, занимающие около 2 % территории.

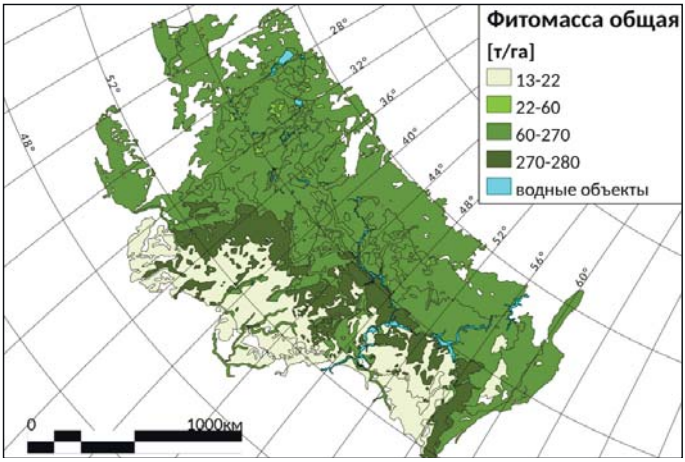


Рис. 1. Общая фитомасса биомов широколиственных лесов Нечерноземной области

Надземная фитомасса имеет аналогичный характер пространственного распределения, изменяясь в диапазоне от 1,8 до 228,9 т/га.

Карта запасов органического вещества в подземной сфере фитоценоза построена с расширенным количеством интервалов значений параметра, лежащих в диапазоне 8,6–59,7 т/га, что связано с высокой неоднородностью данного показателя внутри каждого типа растительности. Так, минимальные значения подземной фитомассы (8,6–10,4 т/га) относятся к местам распространения верховых болот, в то время как переходные и низинные болотные сообщества обладают более высокими запасами органического вещества под землей: 12–14 т/га и 20–30 т/га соответственно. Луговая и степная растительность имеют небольшое количество подземной фитомассы по сравнению с остальными растительными ассоциациями на данной территории (10,4–12 т/га). Остальные интервалы значений показателя характеризуют лесные массивы, которые возрастают от сосновых травяных (14–20 т/га) и производных (30–51,6 т/га) сообществ к растительным ассоциациям с участием широколиственных и еловых форм (51,6–52 т/га – липово-дубовые ассоциации; 52–60 т/га – южнотаежные, подтаежные леса).

Показатель общей продукции (рис. 2) имеет противоположный параметру общей фитомассы характер географического распространения, возрастая с северо-запада на юго-восток в интервале от 3,0 до 23,9 т/га/год. Возрастание показателя происходит в ряду: болота верховые и переходные (2,5–4,5 т/га/год), лесные сообщества с участием хвойных видов и производная растительность (4,5–10,7 т/га/год), липово-дубовые леса (10,7–11,8 т/га/год), болота низинные (11,8–12 т/га/год), луга и степи (12–25 т/га/год).

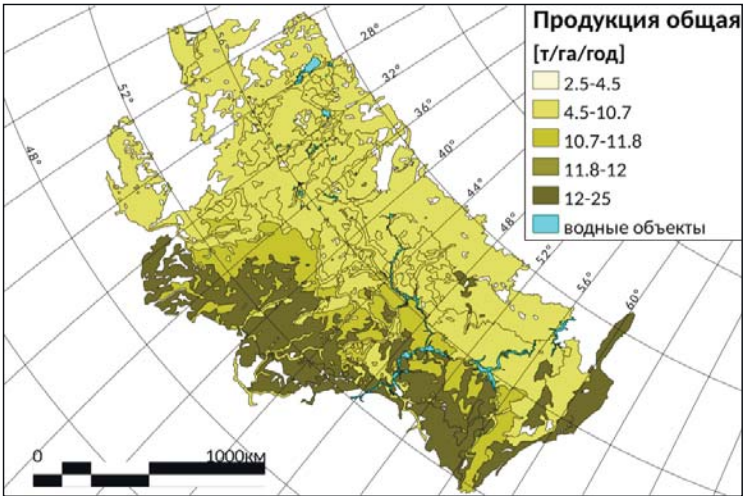


Рис. 2. Общая продукция биомов широколиственных лесов Нечерноземной области

Надземная продукция определена в интервале от 2,9 до 12 т/га/год и отличается уменьшением запасов надземного органического вещества с запада на восток, снова возрастая к предгорным и горным районам. Наименьшими значениями показателя обладают лугово-степные в биоме № 28 (2,9–3,2 т/га/год), верховые и переходные болота (3,2–5 т/га), а также бореальные леса и редколесья биома № 27 (5–6,25 т/га/год). Надземные части растений низинных болот более продуктивны и характеризуются значениями надземной продукции 6,3–6,5 т/га/год. Более 6,5 т/га/год органического вещества производят степные, лесные и производные сообщества.

Карта подземной продукции аналогична карте общей продукции, отличаясь диапазоном значений, в котором она построена (0,1–15,9 т/га/год).

Согласно шести картам различных продукционных показателей можно сделать вывод о том, что показатели общей и надземной фитомассы и общей и подземной продукции имеют противоположные закономерности географического распределения. Наибольшее накопление органического вещества наблюдается в лесных сообществах, тогда как максимальная общая продукция растительного покрова, свойственная лугово-степной растительности, обусловлена преимущественно высокой производительностью корневой системы травяных сообществ. Данная закономерность хорошо известна [1; 3]. Отмечается значительное сходство границ переходов рассмотренных продукционных показателей в различных типах растительности и почвенных зон и провинций Карты почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины [5]. Господство типичных черноземов и серых лесных почв с благоприятными физико-химическими свойствами, а также развитие оптимальных режимов внешних температур и осадков в биомах лесостепи обеспечивает активное развитие

и накопление растительного материала в подземной сфере, за счет чего формируется мощный органический профиль с высоким содержанием гумуса и питательных веществ.

Таким образом, перевод усредненных значений продукционных параметров на Карту растительности СССР позволяет ввести в научный оборот большой массив информации, содержащейся в точечной Базе данных. В дальнейшем он может быть использован с применением ГИС как в научных исследованиях в области почвоведения, так и для решения ряда прикладных задач сельского и лесного хозяйства.

Работа осуществлена при поддержке гранта РНФ № 22–14–00107-П «Методологические основы оценки продукционного потенциала почв на федеральном, региональном и локальном уровнях».

Литература

1. Базилевич Н. И. Продуктивность, биогеохимия современной биосферы и функциональные модели экосистем // Почвоведение. 1979. № 2. С. 5–22.
2. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы / под ред. Г. Н. Огуреевой. М. : ФГБУ «ИГКЭ», 2020. 623 с.
3. Добровольский Г. В., Урусевская И. С. География почв : учебник. Изд. 3-е, перераб. и доп. М. : Изд-во МГУ : КолосС, 2004. 460 с.
4. Карта «Биомы России». Масштаб 1:7 500 000 / гл. ред. Огуреева Г. Н. : Изд. 2-е., перераб. и доп. М. : Всемир. фонд дикой природы (WWF), 2018.
5. Карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины. Масштаб 1:2 500 000 / науч. ред.: Добровольский Г. В., Урусевская И. С. М. : ЭКОР, 1997.
6. Карта растительности СССР: для вузов. Масштаб 1:4 000 000. М. : ГУГК, 1990. 4 л.
7. Продуктивность экосистем Северной Евразии // BIODAT. URL: https://www.biodat.ru/db/prod/index.htm

PRODUCTION PARAMETERS OF PLANT ASSOCIATIONS AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE SOIL COVER OF BROAD-LEAFED FORESTS OF THE NON-CHERNOZEM ZONE

A. A. Romanova, I. O. Alyabina
Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Moscow
romalina96@yandex.ru

Studying the dynamics of organic matter in ecosystems, as affected by current climate change, is possible by measuring and analyzing the spatial distribution of vegetation productivity indicators. This study proposes and tests a method for constructing maps of total, aboveground, and belowground phytomass and the production of plant associations in biomes containing broadleaf forests in the Non-Chernozem Zone of Russia. The algorithm is based on converting information from point objects in the "Northern Eurasia Ecosystem Productivity" database to polygons in the USSR Vegetation Map 1:4,000,000 using a GIS based on expert data analysis. Similar patterns in the geographic distribution of total and aboveground phytomass indicators, as well as total and belowground production of plant associations, are revealed. A decrease in vegetation phytomass was noted from forest communities to marsh and meadow-steppe systems. The dominance of total production is confined to areas of grassland ecosystems, to which the production of underground plant parts makes the main contribution. A clear relationship between the spatial distribution and similarity of the boundaries of the production characteristics of vegetation and soil provinces was revealed. The proposed method for working with point databases facilitates the active implementation of the large amount of valuable information stored in this form into scientific dissemination for solving scientific problems in soil science and applied problems in agriculture.

УДК 631.4

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ МИКРОПЛАСТИКОМ

К. В. Ручкина, О. Э. Мерзляков

Томский государственный университет, Томск
Ruchkinakristina99@mail.ru, molege@mail.ru

Пластик – широко распространённый класс синтетических полимеров с низкой стоимостью и высокой химической стабильностью, что обусловливает его массовое применение в бытовой сфере и производственной деятельности. Вместе с тем некоторые ученые обеспокоены экологическими последствиями массового использования пластика, в частности, проблемой загрязнения окружающей среды микропластиком (МП) – частицами пластика размером менее 5 мм, которые могут представлять особую опасность для почвенной экосистемы [20].

Согласно некоторым исследованиям, микропластик можно разделить на первичный и вторичный [10]. Первичный МП производится специально для использования в косметике, изготовления пластиковой мульчи и других промышленных и инженерных целей [3]. Вторичный МП образуется в результате фрагментации более крупных пластиковых изделий под действием условий окружающей среды, таких как температура, ветер, воздействие ультрафиолетового излучения и др. [5], а также под влиянием биологических процессов, связанных с почвенной фауной [17].

Загрязнение почв МП осуществляется двумя основными способами: прямыми источниками (промышленная и сельскохозяйственная деятельность, транспорт и т. д.) и косвенными (атмосферные осадки, дождевые и сточные воды и т. д.). При этом ключевым фактором, определяющим распространение МП в почвах, выступает антропогенная деятельность [18].

Интенсивное внедрение полимерных изделий в сельское хозяйство значительно расширило спектр возможных путей проникновения МП в почву. Агрохимический сектор активно применяет пластик в производстве средств защиты растений, упаковочной продукции, мульчирующих пленок, оборудования для ирригации и вспомогательных конструкций теплиц и парников. Шпагат, сетки для тюков и стрейч-пленки, предназначенные для сохранения соломы, обычно изготавливаются также из пластика [21].

Дополнительным источником загрязнения является проникновение микропластика в почвы посредством пищевой промышленности и ветеринарии. Упаковочная продукция, контейнеры для кормления скота, а также оборудование для уборки урожая и переработки пищевого сырья в процессе регулярного контакта с почвой, элементами самой техники, истираются, что вызывает неизбежное образование МП, попадающего впоследствии в органические удобрения и почвы [21].

В последние годы влияние пластиковой мульчи на накопление МП в почвах стало предметом систематических исследований. Установлено, что ее использование способствует значительному увеличению содержания МП в поч-

венном профиле [14]. Одно из первых исследований, прямо подтверждающих накопление МП в результате использования пластиковой мульчи, провели Liu et al. в 2018 г. [12]. Авторы выявили положительную прямую корреляцию между количеством внесённой мульчи и массой пластиковых частиц, обнаруженных в почве.

Использование органических удобрений способствует аккумуляции МП в почвах. Данные удобрения получают путем переработки биологических веществ, таких как отходы животных и растений, однако процедура подготовки не гарантирует полное удаление полимерных компонентов. Это создает риск системного поступления МП в агроэкосистемы через трофические цепи (растения → животные → удобрения), особенно на фоне ежегодного роста объемов вносимой органики. В Российской Федерации прямое нормирование содержания пластика в удобрениях практически отсутствует, однако существует ГОСТ Р 54651-2011 [1], который устанавливает предельную норму механических примесей (в состав которых могут входить и полимерные частицы) – не более 1,5 % от массы удобрения. В международной практике, как отмечают Fan et al. (2023) [7], применяются более строгие регламенты: стандарт NASAA (Австралия) лимитирует содержание твердого пластика до 0,5 %, легкого – до 0,05 %; в Германии допустимо до 0,1 % пластика по массе. Суммарное поступление МП в почву с органическими удобрениями может достигать 52,4 т/год [21]. Особую опасность представляют наиболее мелкие фракции (<0,5 мм), доля которых в общем объеме высока, что обусловливает их приоритетное изучение ввиду потенциальной экотоксикологической значимости [13]. Значительный прогресс достигнут в области разработки инновационных видов удобрений и семян, защищаемых специальными покрытиями из полиолефинов и полиуретанов. Такие покрытия позволяют регулировать высвобождение питательных веществ и обеспечивать защиту посевного материала от неблагоприятных климатических воздействий и вредоносных насекомых. Тем не менее постепенная деградация этих оболочек приводит к формированию МП, аккумулирующегося в почвах. Следовательно, изучение последствий широкомасштабного использования подобных технологических решений приобретает ключевое значение для достижения баланса между ростом производительности земледелия и сохранением экологической устойчивости [9].

Оросительная вода также признана одним из значимых, хотя и менее изученных, источников поступления микропластика в почву [22]. Орошение водой из поверхностных источников (рек, озер, водохранилищ), которые сами часто загрязнены МП, приводит к его прямому переносу на сельскохозяйственные поля. Концентрация МП в оросительной воде может существенно различаться в зависимости от источника водозабора и связанной с ним антропогенной нагрузки. При использовании методов затопления или дождевания пластиковые частицы задерживаются в верхних слоях почвы, где и накапливаются с течением времени. Количественная оценка вклада орошения в общее загрязнение почв МП является важной задачей для будущих исследований.

Было проведено множество исследований по оценке влияния очистки сточных вод на содержание МП в осадках сточных вод (ОСВ). Исследователи сходятся в том, что в целом очистные сооружения эффективно удаляют МП из сточных вод (более 95 % частиц). Этот вывод относится и к водоемам, куда в итоге попадают сточные воды. Однако в результате очистки пластиковые частицы накапливаются в активном иле. В среднем, по данным зарубежных ученых, накопление МП составляет 22,7 частиц/г, из которых 63 % приходится на волокна [2].

Несанкционированное размещение бытовых и промышленных пластиковых отходов представляет серьезную экологическую угрозу, обусловленную поступлением в окружающую среду значительной доли полиэтиленовых пакетов и иных пластиковых предметов вне контролируемых систем утилизации, что приводит к их последовательному разложению и дальнейшему преобразованию во фрагменты МП. Пандемия COVID-19, вызвав резкий рост использования средств индивидуальной защиты (одноразовых масок, халатов, перчаток), способствовала глобальному увеличению объема отходов и, как следствие, загрязнению почв [4]. Следовательно, несовершенство систем обращения с отходами выступает ключевым фактором, определяющим фоновый уровень загрязнения природных сред МП [18].

Благодаря своим небольшим размерам и малому весу, МП может перемещаться на значительные расстояния воздушными потоками, создавая глобальные очаги рассеяния, способные попадать даже в удалённые регионы земного шара [19]. Атмосферные осадки, в частности снег, также представляют собой значимый источник поступления МП в почву. Снежные массы обладают способностью абсорбировать взвешенные частицы микропластика из воздуха, обеспечивая их последующий перенос в верхний слой почвы при таянии. Данный механизм подробно описан в исследованиях, посвящённых оценке роли атмосферных выпадений в процессе распространения микропластика в экосистемах [8; 15].

Текстильная промышленность является прямым источником поступления МП в почвы. Синтетические волокна, главным образом полиэтилентерефталат (ПЭТ), составляют около 80 % от примерно 42 млн т искусственных волокон, ежегодно образующихся в текстильной промышленности и попадающих в окружающую среду [16]. Важно отметить, что источником вторичных волокон МП могут служить также стиральные машины: образующиеся при стирке частицы попадают в сточные воды, а затем, проходя через очистные сооружения, способны аккумулироваться в агропочвах (например, при орошении или внесении осадка). Можно предположить, что сушильные машины также могут быть возможным источником микропластика [11].

Наряду с перечисленными источниками, существенный вклад в загрязнение вносит износ автомобильных покрышек, дорожного асфальта и тормозных колодок, сопровождающийся выделением значительного количества шинной пыли, содержащей микропластик [6]. Кроме того, механическое истирание зда-

ний, фасадов, искусственных спортивных площадок и дорожных поверхностей добавляет существенный вклад в общее количество образовавшегося МП.

Таким образом, проблема загрязнения почв микропластиком требует комплексного подхода к её решению. Необходимы дальнейшие исследования для выявления источников, механизмов распространения и накопления микропластика в агроэкосистемах.

Литература

1. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. Введ. 2013-01-01. М. : Стандартинформ, 2012. 20 с.

2. Морачевская Е. В., Воронина Л. П., Ларина Г. Е. Источники и пути транслокации микропластика в почве и растениях // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 1. С. 41–50.

3. Auta H. S., Emenike C. U., Fauziah S. H. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions // Environment International. 2017. Vol. 102. P. 165–176.

4. Microplastics and plant health: a comprehensive review of sources, distribution, toxicity, and remediation / H. D. Chaudhary, G. Shah, U. Bhatt, H. Singh, V. Soni // npj Emerging Contaminants. 2025. Vol. 1, № 8.

5. Microplastic ingestion by zooplankton / M. Cole, P. Lindeque, E. Fileman, C. Halsband, R. Goodhead, J. Moger, T. Galloway // Environmental Science & Technology. 2013. Vol. 47, № 12. P. 6646–6655.

6. The crux of microplastics in soil – a review / P. Dhevagi, R. Poornima, R. G. Keerthi Sahasa, A. Ramya, S. Karthika, K. Sivasubramanian // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2024. Vol. 104, N 18. P. 6546–6578.

7. Sources and identification of microplastics in soils / W. Fan, C. Qiu, Q. Qu, X. Hu, L. Mu, Z. Gao, X. Tang // Soil & Environmental Health. 2023. Vol. 1, N 2. Art. 100019.

8. It is snowing microplastics in Western Siberia / Y. A. Frank, D. Tatsii, A. R. Rednikin, A. Plach, S. N. Rakhmatullina, D. S. Vorobiev, A. Stohl // Environmental Pollution. 2025. Vol. 364, Part 1. Art. 125293.

9. Polyurethane Chemistry for the Agricultural Applications – Recent Advancement and Future Prospects / A. Ghosh, S. Roy Chowdhury, R. Dutta, R. Babu, C. Rumbo, N. Dasgupta, P. Mukherjee, N. C. Das, S. Ranjan // ACS Symposium Series. 2023. Vol. 1454. Ch. 1. DOI: 10.1021/bk-2023–1454. ch001.

10. Guo X., Pang J., Chen S., Jia H. Sorption Properties of Tylosin on Four Different Microplastics // Chemosphere. 2018. Vol. 209. P. 240–245.

11. Microplastics in soil: a review on research status, sources, methods, and remediation strategies / L. Liu, Y. Chen, Q. Li, Q. Wu, Y. Zeng // Plant and Soil. 2025. Vol. 509. P. 35–52.

12. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China / M. Liu, S. Lu, Y. Song, L. Lei, J. Hu, W. Lv, W. Zhou, C. Cao, H. Shi, X. Yang, D. He // Environmental Pollution. 2018. Vol. 242, Part A. P. 855–862.

13. Pay attention to research on microplastic pollution in soil for prevention of ecological and food chain risks / L. Luo, Q. Zhou, H. Zhang, X. Pan, C. Tu, L. Li, J. Yang // Bulletin of Chinese Academy of Sciences. 2018. Vol. 33. P. 1021–1030.

14. Review of microplastic sources, transport pathways and correlations with other soil stressors: a journey from agricultural sites into the environment / E. H. Lwanga, N. Beriot, F. Corradini, V. Silva, X. Yang, J. Baartman, M. Rezaei, L. van Schaik, M. Riksen, V. Geissen // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2022. Vol. 9, № 20.

15. Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects / J. C. Prata, J. P. da Costa, I. Lopes, A. C. Duarte, T. Rocha-Santos // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 702. Art. 134455.

16. Rillig M. C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? // Environmental Science & Technology. 2012. Vol. 46, N 12. P. 6453–6454.

17. Rillig M. C., Ziersch L., Hempel S. Microplastic transport in soil by earthworms // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. P. 1362.

18. Sources, pollution, and ecological impacts of soil microplastics: A review / X. Wang, S. Ren, Y. Chai, X. Zhong, C. He, X. Li, C. Zheng, S. Chai // Environmental Chemistry and Safety. 2025. Vol. 1, N 3. Art. 9600042.

19. Microplastics in Agricultural Soils: Sources, Fate, and Interactions with Other Contaminants / L. Yang, W. Yang, Q. Li, Z. Zhao, H. Zhou, P. Wu // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2025. Vol. 73, N 21. P. 12548–12562.

20. Microplastics and environmental effects: investigating the effects of microplastics on aquatic habitats and their impact on human health / A. Yarahmadi, S. Heidari, P. Sepahvand, H. Afkhami, H. Kheradjoo // Frontiers in Public Health. 2024. Vol. 12. Art. 1411389.

21. Zhang Y., Zhang X., Li X., Defu H. Interaction of microplastics and soil animals in agricultural ecosystems // Current Opinion in Environmental Science & Health. 2022. Vol. 100327.

22. Microplastics and their potential effects on the aquaculture systems: a critical review / A. Zhou, Y. Zhang, S. Xie, Y. Chen, X. Li, J. Wang, J. Zou // Reviews in Aquaculture. 2021. Vol. 13. P. 719–733.

SOURCES OF SOIL POLLUTION WITH MICROPLASTICS

K. V. Ruchkina, O. E. Merzlyakov
Tomsk State University, Tomsk
Ruchkinakristina99@mail.ru, molege@mail.ru

This paper examines the main sources of soil pollution with microplastics – plastic particles smaller than 5 mm in size. Microplastics are classified as primary (produced for cosmetic, industrial, and agricultural purposes) and secondary (formed during the fragmentation of larger plastic waste under the influence of abiotic and biotic factors). Direct and indirect pathways of MPs entering the soil are analyzed, including the use of plastic mulch, organic fertilizers, irrigation water, sewage sludge, textile industry activities, tire and road surface wear, precipitation (including snow), and unauthorized waste disposal. Special attention is paid to the role of agricultural activities, in particular the use of polymer coatings for fertilizers and seeds. The paper substantiates the need for an integrated approach to solving the problem of soil pollution with microplastics, conducting further research into the mechanisms of MPs distribution and accumulation in agroecosystems, and mandatory accounting of both direct and indirect sources of pollution.

УДК 631.4

ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ПОДЗОЛОВ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П. Ш. Сайранова, Н. В. Митракова, Н. А. Кобелев

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
sairanova. p@gmail.com, mitrakovanatalya@mail.ru, amst3rz@gmail.com

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом приводит к полному или частичному уничтожению почвенного покрова. Особенно уязвимыми являются земли с почвами легкого гранулометрического состава, обладающие низкой буферностью и слабой устойчивостью к механическим воздействиям.

Объектом исследования послужил несанкционированный карьер по добыче песка, устроенный на зарастающей вырубке.

Цель исследования – оценить масштаб деградации почвенного покрова территории после рекультивации несанкционированного карьера.

Для оценки состояния растительного покрова на исследуемой территории использовался нормализованный относительный индекс растительности (NDVI), который является основным инструментом в геоинформатике для характеристики плотности и наличия растительного покрова. Как правило, значения выше 0,5 указывают на густую здоровую растительность, 0,3–0,5 – на умеренную, ниже 0,3 – на разреженный или ослабленный растительный покров, отрицательные значения – на отсутствие растительности. Расчет производился на основе данных дистанционного зондирования Земли (спутник Sentinel-2A). Обработка спутниковых данных проводилась в программном обеспечении ArcMap с использованием инструмента «Калькулятор растра».

Анализировались данные за вегетационные периоды 2024 и 2025 гг. (июнь, июль, август, сентябрь). Для сравнения использовались средние, минимальные и максимальные значения индекса NDVI. В табл. 1 представлена сравнительная характеристика значений NDVI по месяцам для каждого года.

Таблица 1

Динамика индекса NDVI

Месяц	Среднее значение NDVI за 2024 г.	Среднее значение NDVI за 2025 г.	Разница в среднем
Июнь	0,504	0,266	-0,238
Июль	0,578	0,189	-0,389
Август	0,438	0,201	-0,237
Сентябрь	0,290	0,257	-0,033

Как видно из табл. 1, в 2025 г. значения NDVI систематически ниже по сравнению с 2024 г. Наиболее сильное снижение отмечено в июле (в 3 раза), что не соответствует ожидаемой сезонной динамике. Общий средний NDVI за период составил 0,452 в 2024 г. и 0,228 в 2025 г. Это почти двукратное сниже-

ние, указывающее на деградацию растительного покрова, который стал более разреженным и ослабленным, его плотность значительно уменьшилась.

Отметим, что фоновый лес сохраняет стабильно высокие значения NDVI (0,784–0,799), что соответствует сомкнутому древостою и хорошо развитому подлеску. Значения NDVI за 2024 г. отражают состояние растительности на зарастающей вырубке, тогда как индекс NDVI за 2025 г. свидетельствует о начале деятельности несанкционированного карьера.

При полевом обследовании территории обнаружено, что поверхностный слой участка характеризуется наличием песчаного материала неоднородной окраски:

- южная, юго-западная и центральная часть сложены охристо-бурыми песками (участок 1).
- северо-восточная и восточная часть, а также локальный участок в южной части представлены светло- и темно-серыми песками (участок 2);

Рельеф территории: участок с охристо-бурыми песками (участок 1) занимает пониженное положение относительно территории со светло- и темно-серыми песками (участок 2).

Растительный покров: на карьере зафиксированы рекультивационные мероприятия – искусственные посадки сосны с междурядьями около 4 м (высота деревьев 10–35 см). В травяном ярусе единично встречаются иван-чай, мятлик и клевер. За территорией карьера на зарастающей вырубке отмечены пни, порубочные остатки, подрост ели (0,7–1,5 м) и березы (до 2 м), брусника, иван-чай, мхи, лишайники. В сосново-еловом лесу доминируют сосны с участием ели, присутствует подрост ели (≈0,5 м) и березы, брусника, черника и моховой покров.

Почвенные образцы отбирались по диагностированным генетическим горизонтам, а в случае их отсутствия – по слоям. Точки обследования выбирали в соответствии с цветовой характеристикой поверхности: два почвенных разреза заложены на участке 1, два – на участке 2; один разрез заложен за границами карьера, вблизи зарастающей вырубки; в качестве фоновой почвы заложен один разрез в нетронутом сосново-еловом лесу.

Фоновая почва согласно современной классификации диагностирована как подзол грубогумусированный иллювиально-железистый [1; 2]. Профиль почвы: О-ао-Е-BF-С. Подзол грубогумусированный иллювиально-железистый характеризуется четко дифференцированным профилем, состоящим из: слабооторфованной подстилки О мощностью 4 см; маломощного органо-минерального горизонта ао мощностью 7 см; белесого подзолистого горизонта Е, осветленного за счет выноса соединений железа и гумуса, мощностью 7 см; альфегумусового горизонта BF охристых тонов, образованного в результате иллювиальной аккумуляции алюмогумусовых и железистых соединений и постепенно переходящего в почвообразующую породу С.

Физико-химические свойства исследуемых почв представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические свойства почв

Точка	Горизонт	Глубина, см	ОВ, %	pH водное	pH солевое	Hг	S	Alподв.
						ммоль/100 г		
Участок 1 – абралиты								
П1. 1	C	0–20	<1	5,1	4,4	2,74	<1	0,28
П1. 2	C	0–20	<1	5,4	4,5	1,18	<1	0,35
Участок 2 – подзолы турбированные с усеченным профилем								
П2. 1	[ao, E]tr	0–33	1,86	4,7	3,8	2,99	<1	0,47
	BF-C	33–45	<1	4,6	4,3	3,26	<1	0,48
П2. 2	[ao, E]tr	0–8	1,42	5,1	3,9	1,13	<1	0,30
Почвы за границами карьера на зарастающей вырубке – подзол турбированный с усеченным профилем								
П3. 1	[ao, E]tr	0–5	1,66	5,1	4,0	2,80	<1	0,43
	E	5–10	<1	4,4	3,6	1,28	<1	0,19
	BF-C	15–25	<1	6,4	4,3	1,98	<1	0,60
	E	10–16	<1	4,9	3,7	2,52	<1	0,22
	BF-C	20–30	<1	4,9	4,3	1,78	<1	0,56
Фон – подзол грубогумусированный иллювиально-железистый								
Пфон	O	4–6	>70*	4,2	3,5	28,7	18,0	0,15
	ao	6–13	1,75	4,2	3,0	3,33	<1	0,62
	E	13–20	<1	4,4	3,9	0,78	<1	0,29
	BF-C	20–30	<1	5,2	4,2	2,46	<1	1,05

Примечание: ОВ – органическое вещество; Hг – гидролитическая кислотность; S – сумма поглощенных оснований, Alподв. обменный (поглощенный) алюминий; * – содержание органического вещества рассчитано через зольность, так как подстилочно-торфяный горизонт состоит из растительных остатков.

Исходя из анализа морфологических и физико-химических свойств почв, можно сделать следующие выводы. Песчаный материал на участке 2 представляет собой поверхностно-турбированный подзол с нарушенной стратификацией верхних горизонтов. На это указывают:

- частичное отсутствие подстилочно-торфяного и грубогумусового горизонтов;
- механическое перемешивание органических и элювиальных горизонтов;
- неоднородная окраска профиля;
- наличие груборазложившихся растительных остатков (мох, кора) на глубине 20 см;
- содержание органического вещества 1,42–1,86 %.

Данный участок диагностируется наличием усеченного профиля подзолов с поверхностно-турбированным слоем [ao, E]tr. При этом сохраняются достаточно крупные, легко идентифицируемые фрагменты почвенных горизонтов.

Песчаный материал участка Б идентифицирован как почвообразующая порода подзола, что подтверждается:

- почти полным отсутствием органического вещества;
- слабокислой реакцией среды;
- сохранением исходной окраски минеральной массы.

Таким образом, на исследованной территории зафиксирован комплекс нарушенных почвенных образований. На месте карьера (участок 1) диагностированы техногенные поверхностные образования – абралиты, которые представляют собой вскрытый и не утративший своего естественного залегания минеральный материал днищ и бортов карьеров и других горных выработок.

Границы указанных участков были картированы (рис.).

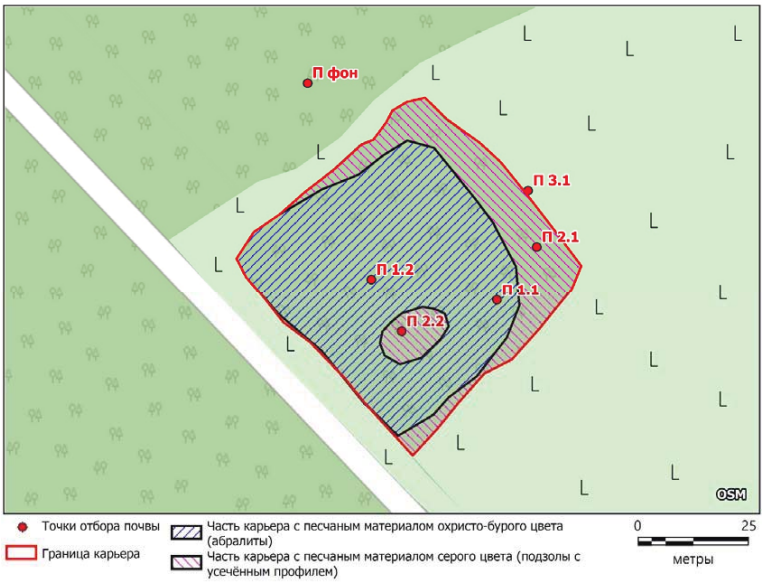


Рис. Картосхема участка обследования

По данным обследования можно рассчитать в стоимостной форме размер вреда, причиненного почвам при снятии и перемещении плодородного слоя, согласно п. 11 приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 08.07.2010 № 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды».

Таким образом, в результате добычи песчаных строительных материалов происходит разрушение естественных почвенных комбинаций. Анализ NDVI показал резкое снижение продуктивности растительного покрова на нарушенном участке, что свидетельствует о начале деятельности несанкционированного карьера в 2025 г. До образования карьера при вырубке леса также происходила турбация верхних почвенных горизонтов, как видно из свойств почвы в точке П3. 1 (за пределами карьера на зарастающей вырубке), однако это не оказало существенного влияния на растительный покров. Основной ущерб данной территории связан с деятельностью несанкционированного карьера: полное уничтожение почвенного покрова на площади 2374 м^2 с обнажением песчаной почвообразующей породы, содержащей органическое вещество менее 1 %, практи-

чески не удерживающей влагу и непригодной для естественного лесовосстановления. Целесообразность проведенных рекультивационных мероприятий и вероятность приживаемости посаженных сосен остаются открытыми вопросами и требуют дополнительной оценки в ходе последующих наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект FSNF-2025-0011).

Литература

1. Классификация и диагностика почв России / под ред. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Полевой определитель почв. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

ASSESSMENT OF PODZOL DEGRADATION USING FIELD AND REMOTE SENSING DATA

P. Sh. Sairanova, N. V. Mitrakova, N. A. Kobelev
Perm State National Research University, Perm,
sairanova. p@gmail.com, mitrakovanatalya@mail.ru, amst3rz@gmail.com

This study presents an assessment of damage to soil cover caused by the removal of the fertile layer in an unauthorized quarry within podzols of light particle size distribution. The aim was to evaluate the extent of soil degradation after reclamation. Field, laboratory, and remote sensing methods (NDVI based on Sentinel-2A data) were employed. In the surveyed area, surface-turbated podzols and abralites (exposed in-situ mineral material from quarry floors and walls) were identified, with the background soil being a raw-humic illuvial-ferruginous podzol. NDVI decreased nearly twofold (from 0.452 to 0.228), confirming the degradation of vegetation cover.

УДК 574.42

ТЕХНОБИОГЕОМЫ МЕСТ ПАДЕНИЯ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ «ПРОТОН» В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ

И. Н. Семенков[1], С. А. Леднев[1], А. М. Карпачевский[1], Г. В. Клинк[2], Я. А. Делеган[3], Т. А. Болотник[1], В. А. Трифонова[1], А. Г. Богун[3], О. А. Миронова[3], А. Д. Смоленков[1], Т. В. Королева[1]

[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
semenkov@seogr.msu.ru
[2]Высшая школа экономики, Москва
[3]Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрябина РАН, ФИЦ Пущинский научный центр биологических исследований РАН, Пущино

Введение. Одна из экологических проблем, унаследованных Россией от СССР, связана с использованием космодрома Байконур, который вместе со многими другими объектами его наземной инфраструктуры находится в Республике Казахстан. К настоящему моменту с Байконура запущено более 1,5 тыс. ракет космического назначения, в результате чего в районах падения (РП) Центрального и Северного Казахстана сформировалось более 5 тыс. мест штатного падения (МП) первых ступеней. Договор аренды комплекса «Байконур» 1994 г. определяет, что арендатор (Российская Федерация) обязуется «использовать и содержать арендуемые объекты с учетом требований экологической безопасности, правил природопользования, охраны окружающей среды, проводить мероприятия по очистке районов падения от отделяющихся частей ракет-носителей». По завершении аренды Байконура все объекты космодрома и его наземной инфраструктуры будут обследованы казахстанскими природоохранными органами для определения ущерба, нанесенного окружающей среде, и суммы компенсации от данной деятельности.

Первая ступень ракеты-носителя (РН) «Протон» тяжелого класса приземляется моноблоком. На этом участке (МП) в зависимости от сезона года формируются разные по площади и интенсивности проявления зоны механических (среднее 55–1740 м^2, частота появления 6–76 % в зависимости от интенсивности проявления по данным с 33 МП, обследованным в 2014–2024 гг.) и пирогенных (21 тыс. м^2, 36 %) нарушений почвенного и растительного покровов, проливаются компоненты ракетного топлива – азотный тетраоксид и гептил [5]. Последний (несимметричный диметилгидразин, НДМГ) является высокотоксичным, канцерогенным веществом I класса опасности.

Цель данного исследования – анализ наличия остаточных количеств гептила и его дериватов на старых (2004 – 2023 гг.) МП первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане и их влияния на растительность, почвы и почвенный микробиом нарушенных участков.

Объекты и методы. Масштаб техногенных воздействий в районах падения 1-й ступени РН «Протон» зоны Ю-24 в 2001–2024 гг. реконструирован по данным спутниковой серии Landsat и результатам полевых работ. В районах падения 1-й ступени РН “Протон” Центрального Казахстана из 119 МП, обра-

зовавшихся с 2001 г., сначала выбраны те, что приурочены к наиболее распространённым сообществам белоземельнополынной формации, в т. ч. постпирогенные сообщества с преобладанием однолетников и/ или дерновинных злаков в пределах выровненных поверхностей междуречий [4]. Далее выделено 4 интервала по годам, прошедшим с момента падения фрагментов РН: 0–3(5), 5–10, 10–15 и 15–25. Стадия 1 – сообщества с преобладанием однолетников, последняя – восстанавливающимся и условно восстановившимся после воздействия по аналогии с оценками скорости пирогенной сукцессии в этом регионе [1; 3; 4]. Из оставшихся 73 МП оставлены сходные по стадии пирогенной сукцессии (большинство МП выгорело в 2017 г.) для характеристики каждой стадии как минимум в четырехкратной повторности, чтобы уменьшить вклад "пирогенной" компоненты, предполагая, что комплексное воздействие от ракетно-космической деятельности, включая поступление высокотоксичного гептила всё же будет перекрывать пирогенное воздействие.

В ходе полевых работ 6–9 мая 2025 г. в районах падения 1-й ступени РН «Протон» выполнено 56 геоботанических описаний на площадках 10×10 м и отобрана 51 проба почв для дальнейших анализов (в т. ч. с 42 парных площадок, характеризующих МП и близлежащий к нему ненарушенный участок). Площадку, характеризующую нарушенный участок, закладывали в центральном месте удара двигательных установок и/или в центре наиболее крупного пролива топлива. Центральное место удара двигательных установок хорошо диагностируется на местности по следующим признакам:

1. Углубление до 50 см (обычно до 20 см) и диаметром до нескольких метров преимущественно округлой формы (единично с небольшими валами (бруствер) высотой до 20 см, образовавшимися в результате выбивания материала из центрального места удара или для ограничения участка последующей детоксикции раствором $KMnO_4$).

2. В углублении кочковато-бугорковатый микрорельеф (понижения и повышения высотой до 20 см и диаметром порядка 50 см), не характерный для окружающей территории с пятнистым нанорельефом (микроповышения высотой до 5 см и диаметром до 10 см).

3. На поверхности участка (и в почвах до глубины как минимум 30 см) имеются мелкие металлические фрагменты 1-й ступени, а также элементы ее внутренней обшивки с характерными размерами первые сантиметры, единично до 50 см. Обычно их суммарная площадь <1 % (на 8 участках она >1 %).

При геоботаническом описании растительности отмечали общее проективное покрытие по ярусам глазомерно с шагом 10 %, видовой состав, для каждого вида – проективное покрытие в % (с шагом в 10 %; для более мелких категорий – 5, 3, 1 и <1 %), средняя высота, фенофаза, жизненность и для многолетников – преобладающее среди особей данного вида возрастное состояние.

На 24 МП из 26 обследованных оценена актуальная площадь нарушений, вызванных ракетно-космической деятельностью: на 19 – выполнена треккинговая GPS-съёмка, на 4 – съемка с БПЛА (в т. ч. на 2 совмещенная с GPS-съёмкой), на 3 МП съемку не выполняли из-за отсутствия выраженных нарушений.

Почвы (бурые и солонцы) опробованы с глубины 5–10 см. В них определяли содержание гептила (валового и кислоторастворимого методом ВЭЖХ-УФ с автоматическим инжектором и диодно-матричным детектором) и его деривативов: нитрозодиметиламина (так же) и тетраметил-2-тетразена, метилтриазола, диметилгидразида муравьиной кислоты и другие методами ГХ-МС. Помимо этого, контролировали следующие показатели: гигроскопическую влагу гравиметрически, содержание Сорг фотометрически, Nобщ по методу Кьельдаля с титриметрическим окончанием, водорастворимых NO_2^- и NO_3^- методом ионной хроматографии, емкость катионного обмена экспресс-методом ЦИНАО для карбонатных почв, обменных NH_4^+ титриметрически и Na, Ca, Mg АЭС-ИСП, величину pH потенциометрически, удельную электрическую проводимость кондуктометрически.

В 21 пробе почв (с максимальной концентрацией гептила на каждой стадии) исследован состав почвенного микробиома методом полногеномного секвенирования на приборе NovaSeq 6000 (фирма Illumina, США) в режиме парных прочтений с длиной 151 п. н. согласно протоколу производителя прибора.

Результаты и их обсуждение. На старых МП 1-й ступени РН «Протон» площадь нарушений варьировала от 0 (на 3 МП) до 1029 м^2 при медиане 56 м^2. Почвы всех обследованных участков (су)глинистые, незасоленные. От недавних МП к старым снижается концентрация валового и подвижного (доля последнего 16±7 % от валового) гептила, водорастворимых NO_2^-, NO_3^- и NH_4^+. При этом по общему N такой тенденции нет. То есть гептил и его дериваты превращаются в соединения, трудно растворимые, недоступные растениям и микроорганизмам, или улетучиваются.

В Центральном Казахстане при двух последовательных воздействиях (пирогенное воздействие, не связанное с пуском, и падение 1-й ступени РН “Протон”; с учётом стадии пирогенной сукцессии, в которой находятся фоновые участки) влияние более раннего воздействия на характеристики растительных сообществ нивелируется. Возраст места падения 1-й ступени значимо влияет только на снижение проективного покрытия житняка пустынного (*Agropyron desertorum*) и повышение проективного покрытия ковыля сарептского (*Stipa sareptana*). В пределах 4 лет после падения 1-й ступени РН “Протон” в подавляющем большинстве случаев регистрируется умеренная степень деградации растительности по критериям [1; 3]. 4–8 лет после падения достаточно для восстановления видового состава растительности и приближения ее состояния к фоновому для Центрального Казахстана. До 10 лет необходимо для восстановления структурных показателей фитоценоза. Но дигрессионные проявления, вызванные воздействием, на части МП сохраняются дольше, замедляя возобновление доминантов, свойственных коренным сообществам. Для 20–40 % мест падения любой возрастной группы характерна умеренная, средняя или сильная степень дигрессии растительного покрова в пределах участка до 10–20 м от центра места удара. На остальных 60–80 % мест падения дигрессия не выражена, что подтверждает умеренный риск опустынивания для сообществ белоземельнополынной формации при ведении ракетно-космической деятельности в

Центральном Казахстане. Видовой состав растительности нарушенных и фоновых участков сходен (значимо не отличается α- и β-разнообразие), наблюдаемые различия случайны, и отличающиеся виды не кластеризуются на эволюционном дереве локальной флоры.

В составе почвенных бактерий на уровне филума преобладают Актинобактерии и Протеобактерии, на уровне семейств – Стрептомицеты. Среди почвенных грибов обнаружены представители всего 4 отделов. Абсолютно преобладают Аскомицеты (в отдельных образцах Basidiomycota и Mucoromycota выходят на роль субдоминантов). В большинстве рассматриваемых образцов на уровне семейств нет ярко выраженных доминантов, и обилие самых распространенных Malasseziaceae составляет около 25 %. Обилие следующих по распространенности Chaetomiaceae, Glomerellaceae, Aspergillaceae и Trichosporonaceae не превышает по 5 – 10 %. Микробное разнообразие обследованных контрольных почв и загрязненных гептилом значимо не отличается по показателям α- и β-разнообразия бактерий и грибов на уровне филума, порядка, класса, семейства и рода, а также по их метаболическому потенциалу. Отсутствуют надежные индикаторные таксоны микроорганизмов, реагирующие на наличие в почвах гептила и его дериватов.

В районах падения 1-й ступени РН «Протон» сформировались турбоземы с обилием артефактов диаметром 2–15 см. Превышение ПДК гептила предполагает необходимость добавления признака “химически загрязненный” по классификации [2]. Однако мы считаем неправомерным такую диагностику при отсутствии отклика в составе и состоянии растительности и почвенного микробиома и возможности вторичного синтеза гептила из дериватов, имеющих схожую структуру, во время пробоподготовки к анализу. Площадь антропогенных почв в пределах обследованных районов падения 1-й ступени ракет-носителей «Протон-М» в Центральном Казахстане составляет 0,94 га (<0,0006 % от площади обследованных районов падения).

Заключение. Пирогенное воздействие перекрывает комплексное воздействие от падения 1-й ступени РН «Протон»: в характеристиках растительности и почвенной микробиоты, свойствах почв мы не нашли надежных индикаторов присутствия гептила и его производных. Это отражает слабое влияние остаточных концентраций гептила и его дериватов на уязвимые аридные экосистемы Центрального Казахстана при штатном режиме эксплуатации ракет-носителей «Протон».

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 25-74-20011. Секвенирование выполнено в ЦКП в области геномики Сколковского института науки и технологий.

Литература

1. Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности / Н. С. Касимов, А. Д. Кондратьев, Т. В. Королева [и др.]. М. : Рестарт, 2011. 472 с.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004.
3. Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности / А. Д. Кондратьев, Н. С. Касимов, П. П. Кречетов [и др.]. М. : Спутник+, 2015. 304 с.

4. Леднев С. А. Пирогенная динамика растительности северных пустынь Центрального Казахстана : дис. … канд. геогр. наук. М., 2026. 200 с.

5. Семенков И. Н., Леднев С. А., Королева Т. В. Технобиогеомы объектов накопленного экологического вреда космодрома Байконур // Глины и глинистые минералы – 2025. VII Российское совещание по глинам и глинистым минералам «ГЛИНЫ-2025». Томск, 8–12 сент. 2025 г. М. : ИГЕМ РАН, 2025. С. 16–18.

TECHNOBIOGEOMES OF THE FALLING SITE OF THE ‘PROTON’ LAUNCH VEHICLE FIRST STAGE IN CENTRAL KAZAKHSTAN

I. N. Semenkov[1], S. A. Lednev[1], A. M. Karpachevskiy[1], G. V. Klink[1 = 2], Ya. A. Delegan[3], T. A. Bolotnik[1], V. A. Trifonova[1], A. G. Bogun[3], O. A. Mironova[3], A. D. Smolenkov[1], T. V. Koroleva[1]

[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, semenkov@seogr.msu.ru
[2]Higher School of Education University, Moscow
[3]G. K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, Federal Research Center Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Pushchino

To analyze the response of properties of soil, vegetation, and the soil microbiome to residual heptyl and its derivatives, we surveyed 26 old impact sites (formed between 2004 and 2023) from the first-stage Proton rocket boosters in Central Kazakhstan (i. e., Zone Yu-24) in May 2025. At these sites, the area of visible disturbance ranged from 0 to 1029 m², with a median of 56 m². From recent to older impact sites, concentrations of total and mobile heptyl (the latter accounting for 16±7 % of total one) decreased, as did water-soluble NO_2^-, NO_3^-, and NH_4^+. This suggests that heptyl and its derivatives either transform into poorly soluble compounds that are inaccessible to plants and microorganisms, or volatilize. Four to eight years after the Proton first-stage impact is sufficient for plant species composition to recover to a state close to the background level of Central Kazakhstan. Up to ten years are needed for the recovery of phytocoenosis structural parameters. At 60–80 % of impact sites, no evident digression is observed, confirming a moderate desertification risk for *Artemisia terrae-albae* communities under ongoing rocket and space activities in Central Kazakhstan. At the remaining sites, regardless of age, moderate, medium, or strong vegetation digression occurs within 10–20 m of the impact center. The plant species composition at disturbed and background sites is similar (alpha- and beta-diversity do not differ significantly). Differences in plant species pools appear random, and such species do not cluster on the evolutionary tree of the local flora. Microbial diversity in control soils versus heptyl-contaminated soils shows no significant differences in alpha- or beta-diversity of bacteria and fungi at the phylum, order, class, family, or genus level, nor in metabolic potential. No reliable indicator microbial taxa respond to the presence of heptyl or its derivatives in soils of Central Kazakhstan. Pyrogenic effects override the combined effects of the Proton first-stage impacts: we found no reliable indicators of heptyl or its derivatives in soil properties, vegetation characteristics, or soil microbiota. This reflects the weak influence of residual heptyl and its derivatives on the vulnerable arid ecosystems of Central Kazakhstan under normal Proton rocket operations.

УДК 631.474(571)

ПОНЯТИЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ ПРИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ

Н. А. Синько[1], А. А. Козлова[1,2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск
[2]Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
nik.sinko@internet.ru, allak2008@mail.ru

Оценка устойчивости почв как компонента экосистемы необходима в целях прогнозирования и анализа изменяющейся в ходе хозяйственной деятельности человека экологической ситуации. Важно определение допустимой техногенной нагрузки, которая существенно не влияла бы на эффективность выполнения почвенным покровом его основных экологических функций [10].

Наиболее остро, проблема устойчивости почв, встаёт при решении вопросов освоения новых земель, при проведении мониторинга, крупномасштабных мероприятий, так или иначе изменяющих структуру и компонентный состав природной среды (переброски стока рек, крупномасштабные мелиорации, сведение лесов) [2].

Устойчивость почв – это способность почвы длительное время сохранять состав, структуру, функционирование и пространственное положение в условиях относительно небольшого изменения или колебания факторов почвообразования и восстанавливать качественные характеристики своего исходного состояния после его возмущения [10].

Понятие устойчивости почв включает совокупность взаимодополняющих понятий: инертность компонентов; стойкость компонентов, горизонтов и почв; стабильность компонентов и их соотношения, включая видовой состав микробо- и зооценоза; прочность почвы и отдельных её компонентов как способность сопротивляться внешним механическим воздействиям; живучесть ценоза почвенных живых организмов; постоянство качественных признаков почвы; сохранение своего пространственного положения; буферность; надежность и устойчивость функционирования почвы в составе геосистемы; инерционность изменения; способность к восстановлению состава структуры и функционирования после возмущения исходного состава [5].

Понятие устойчивости в каждом конкретном случае отражает целостные (эмерджентные) свойства объекта, т. е. устойчивость системы не является простой суммой устойчивости отдельных её компонентов: для каждого иерархического уровня строения педосферы присущи особые механизмы, обеспечивающие устойчивость объектов к внешним воздействиям. Универсальная оценка устойчивости почвы без указания характера, интенсивности и длительности воздействия на почву невозможна [2].

Об устойчивости объекта предложено говорить только по отношению к относительно слабым воздействиям на него. По отношению к сильным воздействиям предложено использовать понятие сенсорность (чувствительность) от-

дельных компонентов и системы в целом, а также характер, направление, величину изменения и возможность возникновения устойчивого состояния в другом качестве [7].

В контексте с изложенным под устойчивостью понимается свойство почвы как компонента экосистемы сохранять собственные свойства, параметры режимов, соотношение фаз и структурную организацию, зависящее от других компонентов экосистемы (факторов почвообразования) [5].

Под устойчивостью почв различных природных зон к антропогенным воздействиям понимается проявление её протекторной функции, обусловленной как генетическими свойствами, так и материалами, веществами и приемами, используемыми человеком, для сохранения целостности, восстановления взаимосвязей и нормального функционирования в пространстве и во времени биокосной системы и входящих в неё структур различных иерархических уровней [7].

Устойчивость почв в соответствие с данной концепцией определяется рядом прямых и косвенных факторов [2]. Прямые факторы, определяющиеся достаточно стабильными параметрами (гранулометрический состав, минералогический состав, запасы и тип гумуса, средообразующая биота), характеризуются показателями, связанными с процессами почвообразования, свойствами почв и антропогенной деятельностью. Динамичность природных процессов (кислотность, щелочность, карбонатность, окислительно-восстановительные процессы, содержание подвижных форм элементов и т. д.) определяется прямыми функциональными факторами, к которым принадлежат также и кратковременные и длительные воздействия человека на почву. Они изменяют устойчивость почв к внешним воздействиям путем внесения удобрений, материалов, обладающих высокой сорбционной способностью, повышающих буферные свойства, биологическую активность и плодородие почв. К косвенным факторам устойчивости почв относятся климат, рельеф и время. Синтез понятий о факторах и показателях устойчивости почв к техногенным воздействиям дает возможность выработать количественные показатели уровней устойчивости.

Механизмы, гарантирующие устойчивость почв к внешним воздействиям, включают [6]: многообразие элементов почвы (многообразие минеральных компонентов; гумусовых веществ, разнообразие внутрипочвенного ценоза), обеспечивающее способность замены одного компонента другим для выполнения одной и той же функции почвы; механическая прочность, упругость, эластичность твердофазных компонентов почвы и структурных связей между ними; способность к поглощению веществ и энергии, обеспечиваемая физическими, биологическими и химическими явлениями (адсорбция, ионный обмен, низкая растворимость многих соединений, активное удержание живыми организмами и др.); способность к латеральному и радиальному выбросу и/или транслокации легкорастворимых компонентов; перспектива сохранения внешних условий, обеспечивающих активное существование почвенных процессов, поддерживающих и способствующих периодическому обновлению состава, свойств и строения почв.

Разграничение внешних воздействий на почвы проводится, прежде всего, по их географическим масштабам на локальные, региональные и глобальные, включающие такие типы, как механические, гидрологические, химические, тепловые и биологические. Последующими уровневыми ступенями внешних воздействий выделяются амплитуда (сильное, умеренное, слабое), периодичность (кратковременное, периодическое, долговременное), их природа и происхождение (естественное, антропогенное) [10].

В соотношении с основными типами воздействий рекомендовано выведение пяти типов устойчивости почв [3; 4]: к механическим воздействиям; к гидрологическим воздействиям; к тепловым воздействиям; к химическим и радиохимическим воздействиям; к биологическим воздействиям.

В контексте с сформулированным, под устойчивостью понимается свойство почвы как элемента экосистемы сохранять свои свойства, параметры режимов, соотношение фаз и структурную организацию, которые зависят от других факторов почвообразования, компонентов экосистемы. Способность почвы накапливать результаты внешних воздействий, при этом радикально не изменяя собственную структурно-функциональную организацию и экологические функции, в экосистеме характеризуются понятием пластичность, являющейся одним из механизмов реализации её стабильности. Вторым механизмом реализации устойчивости почв является их упругость, т. е. при которой характеризующее свойство почвы полностью может возвращаться в исходное состояние после прекращения внешнего воздействия [2]. Потенциальная устойчивость почв имеет комплексный, многокомпонентный характер и является ее фундаментальным свойством [1].

Применительно к агрогенно-преобразованным почвам В. Н. Фридланд [8] предлагает разграничивать понятия устойчивости и стабильности. Устойчивость – способность почв противостоять негативным воздействиям, а стабильность – способность почв сохранять приобретенные в результате агропедогенза позитивные свойства и противостоять процессам восстановления естественных свойств, которые могут быть расценены как негативные.

Н. Б. Хитров [9] предлагает выделять два вида устойчивости: резистентную и регенерационную. Под резистентной устойчивостью понимается способность сохранять свойства при наличии воздействия, а под регенерационной устойчивостью – способность восстанавливать свойства после прекращения воздействия.

Таким образом, под устойчивостью здесь понимается свойство почвы, как компонента экосистемы, сохранять собственные свойства, параметры режимов, соотношение фаз и структурную организацию в некоторых пределах, определяемых естественной вариабельностью в границах её классификационного выдела в условиях действующих внешних возмущений различной (в том числе и антропогенной) природы [3; 4].

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы 126020516558-5).

Литература

1. Атлас Республики Бурятия [Карты]: / ред. В. Е. Гулгонов [и др.]. М. : Роскартография, 2000. 48 с.

2. Ларешин В. Г., Шуравилин А. В. Современные методы диагностики и оптимизации физических, физико-химических и химических свойств почв в различных системах земледелия разных климатических зон : учеб. пособие. М. : РУДН, 2008. 281 с.

3. Росновский И. Н. Устойчивость почвы: техногенно-механические аспекты. Новосибирск : Наука, 1993. 159 с.

4. Росновский И. Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования. Томск : Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2001. 251 с.

5. Соколов И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск : Наука, 1993. 232 с.

6. Федоров А. С. Особенности формирования устойчивости почв к антропогенным воздействиям // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2001. Вып. 3. С. 37–45.

7. Федоров А. С. К вопросу об устойчивости почв к антропогенным воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям : тез. докл. Всерос. конф. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2002. С. 12–13.

8. Фридланд В. М. Структура почвенного покрова мира. М. : Мысль. 1984. 236 с.

9. Хитров Н. Б. Представление об устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям : тез. докл. Всерос. конф. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2002. С. 3–7.

10. Хитров Н. Б. Методика оценки влияния сочетания факторов почвообразования на развитие слитогенеза в почве // Генезис, диагностика, свойства и функционирование глинистых набухающих почв Центрального Предкавказья. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2003. С. 430–452.

THE CONCEPT OF SOIL STABILITY UNDER ANTHROPOGENIC LOAD

N. A. Sin'ko[1], A. A. Kozlova[2]
Irkutsk State University, Irkutsk
V. B. Sochava Institute of Geography CO RAN, Irkutsk
nik.sinko@internet.ru, allak2008@mail.ru

Developing environmental management processes presupposes determining the sustainability of the biosphere as a system as a whole, as well as its lower-level ecosystems and their constituent components, including soil cover. The Earth's soil cover determines many processes and properties of the biosphere, being its most important component. The special properties and functions of soil cover are manifested in soil fertility. It is important to determine the permissible anthropogenic and agrogenic load that would not significantly affect the effectiveness of the soil cover in fulfilling its primary ecological functions. The issue of soil sustainability is most acute when addressing issues of land development, monitoring, and large-scale measures that somehow alter the structure and component composition of the natural environment (river flow diversion, large-scale land reclamation, deforestation).

УДК 631.4

АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СВОЙСТВ АВТОМОРФНЫХ ПОЧВ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

Н. А. Соколова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск
nasokolova30@yandex.ru

В связи с повышением внимания к секвестрации углерода почвами в свете актуализации проблемы влияния изменений климата на природные и антропогенные экосистемы, все чаще в фокусе оказывается агрогенная трансформация и деградация почв [1]. Было показано [2], что характер агрогенной трансформации почв определяется типом землепользования, системой агротехники, а также действием природных факторов почвообразования и особенностями самих почв [3].

Агрогенная трансформация почв широко распространена в лесостепной и степной зонах Западной Сибири. Согласно схеме почвенно-экологического районирования [4] район исследования входит в состав Предалтайской лесостепной провинции черноземов выщелоченных и оподзоленных и серых лесных почв Центральной лиственно-лесной, лесостепной и степной почвенно-биоклиматической области. Для сельскохозяйственного использования эта территория освоена еще в XVIII в., а в настоящее время, более половины сельхозугодий составляет пашня [12]. Природные условия района исследований способствуют развитию эрозии почв, приводящей к ускоренному снижению их плодородия: резко континентальный климат обусловливает значительные амплитуды годовых температур воздуха (до 80–85 °С) и глубокое промерзание почв (до 2 м), что дополняется преобладанием осадков в теплый период года и их ливневым характером [6]. Кроме того, высокая степень расчлененности рельефа, преобладание склоновых поверхностей (с уклоном 1–5°) [7], рыхлые поверхностные отложения суглинистого состава способствуют развитию плоскостной эрозии почв [9]. В связи с вышеперечисленным целью исследований была оценка степени агрогенной трансформации свойств автоморфных почв в правобережье Оби в Новосибирской области.

Для достижения поставленной цели в ходе почвенного обследования в Искитимском районе Новосибирской области были заложены 26 разрезов с морфологическим описанием почв и отобраны образцы из генетических горизонтов для лабораторных анализов.

В почвенных образцах определены следующие показатели: pH – потенциометрически; углерод органических соединений ($C_{орг}$) – по методу Тюрина окислением бихроматом калия; обменные основания (Ca^{2+}, Mg^{2+}) – методом Шолленберга; гидролитическая кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО [11]. Гранулометрический состав определяли методом Качинского с пирофосфатной пробоподготовкой. Диагностика и классификация почв проведена по [5; 8].

Агрогенная трансформация выражается морфологически в профиле почв в формировании агрогенного горизонта. Причем, для почв с большей изначальной мощностью гумусового горизонта агрогенная трансформация затрагивает только верхнюю его часть. В случае исходно малой мощности гумусового горизонта (например, на склоновых поверхностях), он вовлекается в пашню целиком, гомогенизируется и граница перехода выражена ясно по окраске. Таким образом, среди агропочв выделены агрочерноземы, агросерые почвы и агроземы. Пространственно эти почвы образуют регулярные структуры – комбинации в виде пятнистостей в пределах полей [10].

Однако развитие агроземов связано не только с изначально малой мощностью гумусового горизонта. В связи с преобладанием на исследованной территории поверхностей с небольшим (до 5°) уклоном пахотные угодья подвержены плоскостной эрозии, выраженной в той или иной степени [9]. Поэтому в процессе сельскохозяйственного производства мощность гумусового горизонта уменьшается последовательно в связи со смывом почвенного материала в направлении локальных понижений рельефа. В таком случае происходит постепенное подпахивание нижележащих горизонтов почв, что морфологически выражается в общем осветлении пахотного горизонта, проявлении неоднородности окраски в виде более темных и светлых пятен.

Таким образом, автоморфные почвы на исследованной территории образуют генетические ряды: чернозем глинисто-иллювиальный – агрочернозем глинисто-иллювиальный – агрозем темный; чернозем криогенно-мицеллярный – агрочернозем криогенно-мицеллярный – агрозем темный; серая типичная почва – агросерая почва.

Изменение физико-химических свойств почв происходит в соответствии с процессами, обусловливающими изменение морфологического облика (табл.). Во всех рядах трансформации наблюдается снижение содержания гумуса в верхней части профиля; особенно резко это выражено в агротемно-серой почве, в которой содержание гумуса уменьшается более чем вдвое. Кроме того, за счет припахивания нижележащих горизонтов и гомогенизации пахотных, утяжеляется гранулометрический состав верхнего пахотного горизонта. В связи с вовлечением в пахотный горизонт более тяжелых срединных горизонтов на начальных этапах происходит увеличение содержания поглощенных катионов и снижение гидролитической кислотности, увеличение pH почвенной суспензии. Однако при более сильной трансформации содержание поглощенных Ca^{2+} и Mg^{2+} вновь снижается.

Таким образом, агрогенная трансформация автоморфных почв выражается как в изменении их морфологического облика (затрагивая, в основном, верхнюю часть профиля), так и в изменении физических и физико-химических свойств. Степень агрогенной трансформации связана как исходными свойствами почв (мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, положение в рельефе), так и с наложением влияния сельскохозяйственного использования на специфику природных факторов почвообразования (состав почвообразующих пород, особенности климата).

Таблица

Физические и физико-химические свойства почв в ряду агрогенной трансформации

Горизонт	Глубина образца, см	pH суспензии		Частиц <0,01 мм, %	Поглощённые катионы		$C_{орг}$, %	$H_г$
		H_2O	KCl		Ca^{2+}	Mg^{2+}		
Чернозём глинисто-иллювиальный								
Ad	0–4	6,31	5,35	28,72	24,18	2,61	6,42	5,73
AU	4–14	6,60	5,40	30,24	32,02	3,79	4,30	5,73
AU	24–34	7,10	5,50	44,20	18,34	2,26	1,81	2,35
AUB	34–42	7,03	5,47	44,68	16,16	2,35	1,28	1,93
BI	42–52	7,26	5,28	44,16	13,07	1,38	0,51	1,70
BM	100–110	7,32	5,24	27,64	39,28	4,25	0,24	-
Агрочернозём глинисто-иллювиальный								
PU'	0–15	6,43	5,25	38,08	31,69	3,15	4,56	5,14
PU"	15–30	6,53	5,33	35,32	25,15	2,71	4,53	4,42
AU	30–40	6,75	5,31	42,52	15,31	1,63	2,14	2,92
BI	45–55	7,06	5,30	44,20	43,72	5,49	0,58	1,78
BM	70–80	7,33	5,50	39,92	–	–	0,30	–
BCA	100–110	8,52	-	44,32	–	–	0,20	–
Чернозём криогенно-мицеллярный								
Ad	0–10	6,42	5,30	33,36	27,35	3,62	7,32	5,14
AU	20–30	6,93	5,48	34,80	27,23	3,31	3,69	3,26
AUB	30–38	7,30	5,60	42,80	14,48	2,55	1,79	2,31
BM	40–50	7,29	5,20	38,80	13,31	2,03	0,53	1,40
BM	60–70	7,30	5,22	37,00	12,37	2,18	0,39	–
BCAmc	90–100	8,36	–	32,64	–	–	0,30	–
Агрочернозём криогенно-мицеллярный								
PU'	0–15	6,67	5,76	36,52	28,05	3,66	3,51	2,62
PU"	15–30	6,72	5,55	36,28	17,68	2,47	3,80	3,13
AUB	30–40	6,90	5,42	43,36	12,84	1,36	1,41	2,31
BM	50–60	7,43	5,27	38,00	35,75	5,33	0,34	–
BCA	80–90	8,40	–	39,48	–	–	0,27	–
BCA	100–110	8,50	–	50,08	–	–	0,20	–
Агрозём криогенно-мицеллярный								
PU'	0–15	6,64	5,56	38,00	23,41	2,81	3,08	2,62
PU"	15–28	7,06	5,92	36,44	13,31	1,09	2,39	1,67
BM	40–50	7,37	5,57	27,64	27,56	3,28	0,24	0,23
BCA	85–95	8,51	–	32,56	–	–	–	–
BCca	110–120	8,51	–	33,72	–	–	–	–
Серая квазиглееватая								
AY	0–10	6,43	5,62	23,52	19,95	2,71	5,70	4,23
AEL	10–18	6,10	4,95	35,12	12,14	1,57	3,13	5,37
BEL	20–30	6,37	4,78	39,96	12,60	2,22	1,28	3,63
BT	50–60	6,64	4,54	46,04	28,51	3,09	0,29	2,46
CQ	110–120	8,12	–	38,08	–	–	0,16	–
Агротёмно-серая								
PU'	0–15	7,04	5,72	46,12	21,10	2,87	1,93	2,21
PU"	15–27	7,03	5,57	48,56	14,17	2,06	1,37	2,25
BEL	27–38	7,08	5,45	46,80	12,14	2,42	0,80	1,82
BT	45–55	7,15	5,09	49,28	12,61	1,93	0,26	1,90
BT	70–80	6,97	4,70	45,36	22,11	2,66	0,16	2,16
D	110–120	6,97	4,77	59,56	29,35	4,07	0,17	2,31

*Примечание: – не определялось

Литература

1. Антропогенные почвы : учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / М. И. Герасимова, М. Н. Строганова, Н. В. Можарова, Т. В. Прокофьева. М. : Юрайт, 2020. 237 с.

2. Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Льговского района Курской области / И. В. Замотаев, В. П. Белобров, А. Н. Курбатова, Д. В. Белоброва // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2016. Вып. 85. С. 97–114.

3. Караваева Н. А. Агрогенные почвы: условия среды, процессы, свойства// Почвоведение. 2005. № 12. С. 1518–1529.

4. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:2 500 000 / Урусевская И. С., Алябина И. О., Винюкова В. П., Востокова Л. Б., Дорофеева Е. И., Шоба С. А., Щипихина Л. С.; под ред. Г. В. Добровольского, И. С. Урусевской. М., 2013. 16 л.

5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 324 с.

6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 20. СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. 717 с.

7. Николаев В. А. Рельеф // Новосибирская область. Природа и ресурсы. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние. 1978. С. 5–25.

8. Полевой определитель почв. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

9. Путилин А. Ф. Эрозия почв в лесостепи Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 184 с.

10. Соколова Н. А., Смоленцева Е. Н. Агрогенная трансформация почвенного покрова Присалаирской дренированной равнины (Западная Сибирь) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2021. Т. 36. С. 37–56. https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.36.37

11. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.

12. Хмелев В. А., Танасиенко А. А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. 349 с.

AGROGENIC TRANSFORMATION OF THE PROPERTIES OF AUTOMORPHIC SOILS OF THE NOVOSIBIRSK REGION

N. A. Sokolova
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk
nasokolova30@yandex.ru

Due to the actualization of the problem of the impact of climate change on natural and anthropogenic ecosystems, agrogenic transformation and soil degradation are increasingly becoming the focus of attention. The natural conditions and the history of the economics of research area contribute to the development of soil erosion, leading to an accelerated decrease in their fertility. In this regard, the aim of the research was to assess the degree of agrogenic transformation of the properties of automorphic soils in the right bank of the Ob River in the Novosibirsk region. The agrogenic transformation of automorphic soils is expressed both in a change in their morphological appearance (affecting mainly the upper part of the profile) and in a change in physical and physicochemical properties. The degree of agrogenic transformation is related both to the initial properties of soils (thickness of the humus horizon, humus content, position in the relief) and to the superimposition of the influence of agricultural use on the specifics of natural factors of soil formation (composition of soil-forming rocks, climate features).

УДК 631.452:631.415.2(571.51)

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ НЕЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

Ю. Н. Трубников
ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск
trubnikov124@yandex.ru

Земледелие в Приенисейской Сибири сосредоточено в основном в центральных лесостепных районах, где господствуют чернозёмы. Нечерноземная зона гораздо менее освоена, но и здесь есть перспективы для развития сельского хозяйства, что связано с оправданным стремлением населения к самообеспечению продуктами питания, а также с уже наметившимся дефицитом земли на территориях, занятых чернозёмами.

Нечернозёмная зона охватывает подтаёжные и северные лесостепные районы юго-восточной оконечности Западной Сибири, и юго-западную часть Средней Сибири в бассейнах рек Енисея, Ангары и Чулыма. Биоклиматический потенциал здесь значительно ниже смежной территории лесостепи, следовательно, при проектировании систем земледелия, необходимо тщательно учитывать особенности почвенных условий. Научные основы применения удобрений в системе адаптивно-ландшафтного земледелия, разработанные для других регионов, не могут эффективно здесь применяться, что обусловлено провинциальными особенностями экосистем.

Цель исследований – обоснование путей воспроизводства плодородия почв нечернозёмной зоны Приенисейской Сибири посредством оптимизации их пищевого режима в агроценозах.

Объекты и методы проведения исследований. Исследования проводились на территории подтаежной зоны Красноярского края, которая входит в южнотаёжно – лесной, плоскоравнинный, суглинистый, дерново-подзолистый и болотно-подзолистый район подтаёжной зоны Западно-Сибирской провинции, а также в лесостепной и южнотаёжно-лесной, равнинно-увалистый и возвышенно-волнистый, суглинистый, серо-лесной, дерново-подзолистый и мерзлотно-таёжный район Средне-Сибирской провинции [1]. Основными объектами исследований служили дерново-подзолистые (гумус – 1,7–2,5 %; $pH_{сол.}$ – 4,3–4,7; Нг – 3,2–4,0; S – 6,0–9,2 мг-экв/100 г; V – 65–74 %; P_2O_5 –1,8–3,3; K_2O – 5,6–7,6 мг/100 г почвы) и серые лесные (гумус – 3,5–4,4 %; $pH_{сол.}$ – 4,6–4,7; Нг – 6,3–7,3; S – 14,6–17,2 мг-экв./100 г; V – 68–74 %; P_2O_5 – 7,1–10,2; K_2O – 7,6–9,4 мг/100 г (по Кирсанову)) почвы Зареченского стационара КНИИСХ в Тюхтетском районе и торфяные низинные типичные (степень разложения торфа – 30–35 %; зольность – 20–24 %; $pH_{сол.}$ – 6,0–6,2; Нг – 24–26 мг-экв./100 г; V – 85–92 %; P_2O_5 – 68–73; K_2O – 17,5–21,6 мг/100 г (по Кирсанову)) почвы Казанского стационара КНИИСХ в Большемуртинском районе Красноярского края.

Исследования на Зареченском стационаре проводились в севообороте: пар – озимая рожь – ячмень + клевер – клевер 1 года пользования – клевер 2 года пользования – лён-долгунец – пшеница – овёс, а также в посевах многолетних трав (кострец + тимофеевка + клевер) 1–3 года пользования.

Опыты на торфяных почвах проводились на осушенном болоте с сетью открытых каналов, расстояние между которыми 200 м. Мощность торфяной толщи – 60–120 см. Торф по ботаническому составу осоковый и древесно-травяной. Плотность сложения пахотного слоя почвы составляет 0,16–0,25 г/см^3.

Агрохимические и физико-химические свойства почв определяли по общепринятым методикам (Агрохимические методы … , 1975 г.).

Структура и основные особенности почвенного покрова. Условия почвообразования Приенисейской Сибири определили характерные особенности почв: пониженная степень оподзоленности, оглеение нижней части почвенного профиля, повышенная гумусированность и укороченный почвенный профиль, карманистость и языковатость гумусового горизонта, повышенная степень насыщенности их основаниями. Здесь встречаются почвы со вторым гумусовым горизонтом, выделенные на правах рода в пределах серых лесных и дерново-подзолистых почв, которые являются характерным компонентом структуры почвенного покрова территории [2; 3].

В структуре почвенного покрова пашни подтайги преобладают серые лесные (43 %) и дерново-подзолистые (19 %) почвы [4].

Характеристика дерново-подзолистых, серых лесных и торфяных низинных почв. Установлено, что для дерново-подзолистых и серых лесных почв характерно наличие положительных корреляционных связей между содержанием гумуса и суммой обменных оснований (r = 0,6–0,7) и отрицательной – между значениями гидролитической кислотности и pH (r = –0,9…-0,9). На более кислых дерново-подзолистых почвах в пахотном и в подпахотном горизонтах, а также в горизонте А1 серых лесных почв под сенокосами и пастбищами, существует устойчивая положительная связь между содержанием гумуса и величиной pH (r = 0,6). Установлено, что содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах тесно коррелирует с содержанием валового азота (r = 0,89–0,84 для слоя А пах на пашне и r = 0,94–0,64 для слоя А1 – В на сенокосах и пастбищах).

Дерново-подзолистые и серые лесные почвы подтаёжной зоны характеризуются среднекислой и сильнокислой реакцией, повышенной степенью насыщенности основаниями и высокой гидролитической кислотностью. Содержание подвижных фосфатов в основном очень низкое и низкое, калия – среднее и низкое.

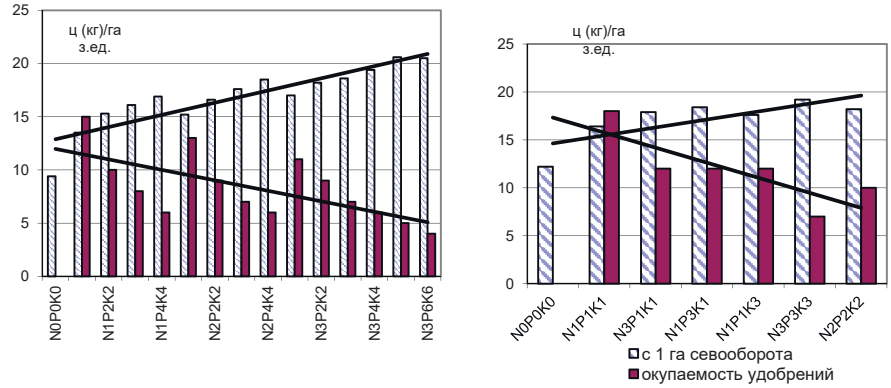
В подтаежной зоне широко распространены торфяные низинные почвы. Степень разложения торфа колеблется от 25 до 60 %, содержание золы – от 8 до 45 %. Реакция чаще близкая к нейтральной. Эти почвы высоко обеспечены валовым азотом, имеют среднее и низкое содержание фосфора, низкое содержание калия.

Влияние удобрений на агрохимические и физико-химические свойства почв. Внесение фосфорных и калийных удобрений по 30 и 60 кг д.в. /га на фоне

таких же доз азота и РК по 90, 120, 150, 180 кг/га на фоне N90 в 8-польном севообороте на дерново-подзолистых и серых лесных почвах не влияет на содержание в них гумуса и кислотность. Отклонения от исходного содержания гумуса 0,1–0,2 %, $pH_{сол.}$ 0,1 – 0,2 ($НСР_{0,5}$ = 0,4) и гидролитической кислотности 0,5–0,9 мг – экв/100 г почвы ($НСР_{05}$ = 0,7–0,9) несущественны.

Ежегодное применение фосфорных удобрений (Р60 и Р90) на фоне калия и азота в опытах на дерново-подзолистой почве не обеспечивает увеличения пятиокиси фосфора. Накопление P_2O_5 (2,0–2,5 мг/100 г почвы) в пахотном слое происходит при внесении Р120, Р150 и Р180. На серых лесных почвах использование фосфорных удобрений обусловило увеличение пятиокиси фосфора в почве на 2,3 – 2,6 мг/100 г. Установлена отчетливая тенденция накопления K_2O в почве под влиянием удобрений. На дерново-подзолистой почве количество доступного калия возрастает от дозы удобрений 90 кг д.в. на га (1,6 мг/100г) и выше (К120 – 2,4 мг/100 г почвы), на серой лесной почве заметное увеличение отмечено при дозе К60 (2,0 мг) и К90 (2,4 мг на 100 г почвы).

Эффективность удобрений на нечерноземных почвах. Для всех возделываемых культур высокоэффективны минимальные дозы удобрений. Полное удобрение (N30P30K30) увеличивает общую продуктивность севооборота на дерново-подзолистых и серых лесных почвах на 44 и 34 % соответственно (рис. 1).



дерново-подзолистая почва серая лесная почва

Дозы удобрений: 1 – 30, 2 – 60, 3 – 90, 4 – 120, 5 – 150, 6 – 180 кг/га

Рис. Выход зерновых единиц с 1 га севооборотной площади и окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем

Потенциал азотных удобрений полнее реализуется на фоне невысоких доз фосфорно-калийных удобрений (30–60 кг/га). Применение фосфора и калия имеет наибольшую отдачу на фоне 60 кг/га азотных удобрений.

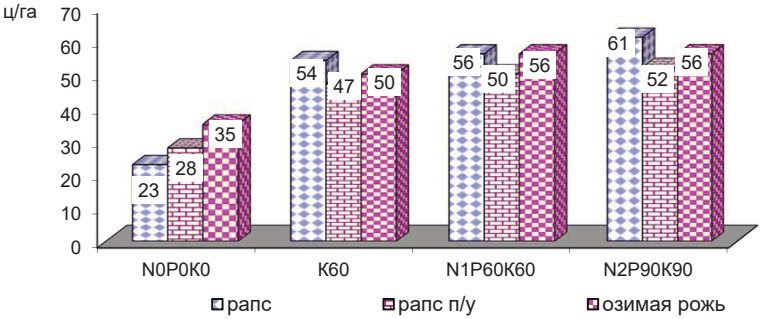
Под влиянием различных доз и соотношений минеральных удобрений общая продуктивность полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах возрастает на 70–94 %. Урожайность зерновых культур увеличивается на 5,3–11,2 ц/га, льна-долгунеца – на 3,9–12,3 ц/га, клевера – на 4,3–11,4 ц/га з. ед.

На серых лесных почвах общая продуктивность севооборота в зависимости от удобрений увеличивается на 34–57 %. Урожайность зерновых культур возрастала на 5,1–7,8 ц/га, технических – на 5,8–9,4 ц/га, кормовых – на 3,7–4,3 ц/га з. ед.

Окупаемость 1 кг д.в. удобрений, в зависимости от величины урожая и дозы удобрений, составляет 7–15 кг з. ед. на дерново-подзолистых почвах и 6 – 18 кг з. ед. на серых лесных.

Влияние минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав. Урожайность сена многолетних трав (тимофеевка + кострец + клевер) в первый год пользования без удобрений на дерново-подзолистых почвах достигает 20–25 ц/га, на серых лесных 25–30 ц/га. Система удобрений многолетних трав на кислых почвах включает внесение основного удобрения в дозах N30-60 P60-90 K60-90 и ежегодной подкормки азотом (30 кг/га). Такой уровень питания за трехлетний цикл скашивания обеспечивает получение 90–100 ц/га сена, 46–53 ц/га кормовых единиц и 55–63 ц/га кормо-протеиновых единиц, превышая контроль на 50–80 %

На торфяных осушенных почвах в первом минимуме находится калий, поэтому в составе полного удобрения должен преобладать калий, что гарантирует высокую продуктивность кормовых культур (рис. 2).



*- N1 – рапс 60, озимая рожь 40 кг/ кг; N2 – рапс 90, озимая рожь 40 кг/га д.в.

Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на урожайность рапса, рапса поукосно и озимой ржи, ц/га с. в (среднее за 3 года)

Заключение. 1. В восьмипольном севообороте на дерново-подзолистой и серой лесной почвах систематическое внесение минеральных удобрений не влияет на содержании гумуса (0,1–0,2 %) и показатели почвенной кислотности (0,1–0,2 pH; 0,5–0,9 мг – экв./100 г Hr), но увеличивает содержание доступных фосфатов на 1,8–2,5 мг/100 г и калия на 2,0–2,6 мг/100 г почвы.

2. Для всех культур высокоэффективна минимальная доза минеральных удобрений (N30P30K30), обеспечивающая рост продуктивности полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах на 42 %, на серых лесных на 34 %. Внесение N60-90P60-90K60-90 увеличивает этот показатель до 94 и 57 % соответственно. Система удобрений многолетних трав включает внесение основно-

го удобрения в дозах N30-60P60-90K60-90 и ежегодную подкормку азотом (30 кг/га), что обеспечивает ежегодное получение 30–35 ц/га сена.

3. На торфяных низинных почвах в первом минимуме находится калий, поэтому оптимальной следует считать дозу N30P30-60K90 под рапс, обеспечивающую получение до 60 ц/га с.в. и P60K90+N20-40 (весной) под озимую рожь для получения урожая 220–240 ц/га зеленой массы и до 30 ц/га зерна. Максимальную продуктивность осушаемого гектара – 110 ц/га сухого вещества формирует звено севооборота: озимая рожь + рапс поукосно.

Литература

1. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / под ред. А. Н. Каштанова. М. : Колос, 1983. 336 с.
2. Бугако П. С., Чупрова В. В. Агрохимическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края : учеб. пособие. Красноярск : Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 1995. 176 с.
3. Рудой Н. Г. Производительная способность почв Приенисейской Сибири / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2010. 240 с.
4. Крупкин П. И. Черноземы Красноярского края. Красноярск : КрасГУ, 2002. 332 с.

AGROECOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PRODUCTIVITY OF NON-CHERNOZEM SOILS OF THE YENISEY SIBERIA

Yu.N. Trubnikov
Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk, trubnikov124@yandex.ru

The conditions of soil formation in the Yenisey Siberia determined the characteristic features of the soils: a reduced degree of podzolization, gleying of the lower part of the soil profile, increased humus content and a shortened soil profile, pockets and tongue-like humus horizon, and increased saturation with bases. Under the influence of various doses and combinations of mineral fertilizers, the productivity of field crop rotation on agro-turf-podzolic soils increases by 70–94 %, and on agro-gray soils by 34–57 %. The yield of grain crops increased by 5.1–7.8 c/ha, technical crops – by 5.8–9.4 c/ha, fodder crops – by 3.7–4.3 c/ha. The fertilizer system for perennial grasses includes the application of basic fertilizer in doses of N30-60 P60-90 K60-90 and annual nitrogen fertilization (30 kg/ha). On peaty soils, potassium should predominate in the complete fertilizer, which guarantees high productivity of fodder crops.

УДК 631.4:31.417.2

ОСОБЕННОСТИ ГУМУСА ПОЧВ ЛУГОВЫХ СООБЩЕСТВ ЗОЛООТВАЛОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

А. П. Учаев, О. А. Некрасова, Т. А. Радченко

*Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Anton.Uchaev@urfu.ru*

Гумус почв является хранителем питательных веществ и служит основным источником энергии для растений и микроорганизмов. Он имеет различный состав в зональных почвах. Изучение его особенностей на начальных этапах почвообразования важно для понимания направленности глобального процесса гумусообразования. В последние десятилетия в результате антропогенной деятельности увеличиваются площади, занимаемые техногенными образованиями, такими как зола. При заселении живыми организмами зола становится субстратом для почвообразования, которое активно изучается [1; 2; 5; 6], но данные о составе гумуса почв, формирующихся на зольном субстрате, практически отсутствуют.

Объектами исследования послужили почвы золоотвалов на Среднем Урале в Свердловской области, расположенных вблизи Верхнего Тагила (отвал I) и Среднеуральска (отвал II), находящихся на расстоянии около 50 км друг от друга. Оба золоотвала сложены золой уноса бурых углей: первый – из Челябинского и Богословского месторождений, второй – из Челябинского и Экибастузского месторождений [4]. Отвалы имеют близкий возраст, составляющий 50–60 лет, и находятся в бореальной умеренно-континентальной климатической области, в подзоне южной тайги. Исследование было проведено на нерекультивированных выровненных участках золоотвалов, находящихся в условиях самозарастания. Таким образом, условия формирования почв на золоотвалах I и II отличаются свойствами зольного субстрата, образовавшегося из углей из различных месторождений.

В результате самозарастания на исследуемых участках золоотвалов сформировались луговые сообщества с преобладанием злаков и разнотравья.

Золоотвал I характеризуется невысоким показателем общего проективного покрытия (55–65 %) и средней высотой травостоя 45–65 см. На площадке 0,25 м^2 в среднем насчитывается 8,8 вида растений, а общее количество видов в луговых сообществах достигает 39. Вертикальная структура луговых сообществ включает два яруса – травяной и лишайниково-моховый, с доминированием мхов *Polytrichum juniperinum* Hedw. и *Brachythecium salebrosum* (F. Weber et D. Mohr) Bruch et al. Микрогруппировки четко не выделяются. Мохово-лишайниковый покров на зольном субстрате имеет среднее проективное покрытие 35 % (местами до 60 %). Наиболее обильные виды: cop1–cop2 – *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, cop1 – *Poapratensis*L. ; разнотравья: cop1–cop2 – *Silenenutans*L., *Pimpinellasaxifraga*L., spgr – *Plantagomedia*L., *Erigeronacris*L.

Луга золоотвала II отличаются умеренным развитием растительности: высота травостоя составляет 20–50 см, общее проективное покрытие варьирует в диапазоне 35–70 %, видовая насыщенность на площадке 0,25 м^2 составляет в среднем 6,5 видов, общее флористическое богатство – 23 вида. Вертикальная структура представлена преимущественно травяным ярусом, мохово-лишайниковый ярус выражен крайне слабо и встречается фрагментарно по площади луга. Микрогруппировки не выражены, покров достаточно однородный. Доминирующие виды по встречаемости и запасу надземной массы: сор1 – *Calamagrostis epigeios*, *Bromopsis inermis* Holub, *Poa pratensis*, *Erigeron acris*; бобовые представлены двумя видами с низким обилием. Из разнотравья с обилием сор1 встречается *Potentilla argentea* L.

Запас живой надземной фитомассы близок для обоих золоотвалов: 80,37±6,17 г/м^3 (отвал I) и 81,67±7,95 г/м^3 (отвал II), однако каждый золоотвал обладает собственным набором видов.

Почвы, вскрытые в трех разрезах на каждом участке золоотвала, имеют малую мощность и следующий набор горизонтов: буро-серый бесструктурный гумусовый горизонт (А) мощностью около 2 см, переходный к породе горизонт (АС) мощностью около 5 см и светло-серый горизонт рыхлого зольного субстрата (С).

Гранулометрический анализ эмбриоземов луговых участков золоотвалов (рисунок 1) выявил заметные различия между отвалами I и II. В почвах обоих объектов преобладают частицы диаметром более 0,01 мм с доминированием фракции мелкого песка, в то время как горизонты С представлены песком связным. Однако характер распределения глинистых частиц в верхних горизонтах эмбриоземов разный: на отвале I гранулометрический состав изменяется от среднесуглинистого в горизонте А до супесчаного в горизонте АС, тогда как на отвале II он имеет песчаный состав.

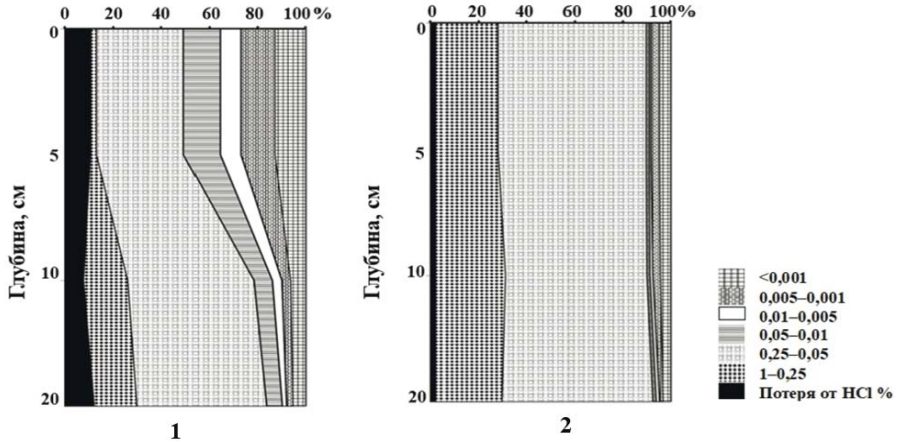


Рис. 1. Гранулометрический состав почв на луговых участках золоотвалов Обозначения: 1 – отвал I; 2 – отвал II

Таким образом, в отличие от почвы отвала II, которая относительно однородна по гранулометрическому составу, почва отвала I имеет выраженную дифференциацию по этому показателю.

Почвы золоотвалов различаются по реакции среды и содержанию элементов питания. На отвале I реакция среды в верхних горизонтах преимущественно нейтральная или слабощелочная, в нижних – щелочная, тогда как на отвале II преобладает слабокислая реакция среды и в некоторых случаях нейтральная в нижних горизонтах. Все изучаемые почвы имеют относительно высокое средневзвешенное содержание в 20-см толще органического углерода, азота и подвижного фосфора, различия заключаются в более высоком содержании подвижного калия, а также Ca^{2+} и Mg^{2+} в почвах отвала I.

Усредненный по трем разрезам качественный состав гумуса почв, определенный по методике Пономаревой и Плотниковой [3] (табл.) золоотвалов показал, что в почвах отвала I во фракционном составе гуминовых кислот преобладают гуминовые кислоты, связанные с кальцием (ГК2), их содержание по профилю составляет 18–30 %. Содержание свободных

Таблица

Качественный состав гумуса эмбриоземов (% к Собщ.)

Горизонт	Глубина, см	$C_{общ}$	ГК			∑ ГК, %	ФК				∑ ФК, %	Негидрол. остаток	$C_{ГК}:C_{ФК}$
			1	2	3		1а	1	2	3			
Отвал I													
A	0–2	5,99	9,8	17,9	12,8	40,5	1,9	12,7	17,2	1,6	33,4	26,1	1,21
AC	2–7	1,94	4,3	29,7	3,8	37,8	1,7	8,1	24,4	2,0	36,2	26,0	1,04
C	7–20	0,66	3,0	24,6	7,2	34,8	2,5	4,3	28,9	6,1	41,8	23,4	0,83
Отвал II													
Ат	0–2	3,64	9,93	0,73	5,73	16,39	1,73	18,50	1,90	4,43	26,56	57,05	0,62
AC	2–7	1,13	7,33	0,57	3,97	11,87	3,43	18,97	3,87	5,83	32,10	56,03	0,37
C	7–13	0,57	5,17	1,57	3,47	10,21	3,10	15,57	3,27	5,37	27,31	62,48	0,37
C	13–20	0,39	2,97	2,00	1,97	6,94	4,43	14,10	2,57	7,10	28,20	64,86	0,25

и связанных с подвижными полуторными оксидами гуминовых кислот (ГК1) и прочно связанных с устойчивыми полуторными оксидами (ГК3) невелико и составляет в среднем 6 и 8 % соответственно. В почвах отвала II (таблица 1) среди гуминовых кислот доминируют бурые гуминовые кислоты (ГК1), их содержание по профилю составляет 3–10 %. Связанные с устойчивыми полуторными оксидами гуминовые кислоты (ГК3) составляют в среднем около 4 %. В минимальных количествах присутствуют черные гуминовые кислоты (ГК2), среднее содержание которых составляет 1 %.

Во фракционном составе фульвокислот почв отвала I (табл. 1) преобладают связанные с черными гуминовыми кислотами фульвокислоты (ФК2), их содержание по профилю составляет 17–29 %. Следующими по количеству идут связанные с бурыми гуминовыми кислотами фульвокислоты (ФК1) и ассоциированные со связанными с устойчивыми полуторными оксидами гуминовыми кислотами фульвокислоты (ФК3), содержание которых составляет в среднем 8 и

3 % соответственно. Агрессивная фракция фульвокислот (ФК1а) представлена в минимальных количествах и составляет 2 % в среднем. Среди фульвокислот почв отвала II (таблица 1) доминируют связанные с бурыми гуминовыми кислотами фульвокислоты (ФК1), их содержание по профилю составляет 14–19 %. Следующими по количеству идут связанные с устойчивыми полуторными оксидами гуминовые кислоты (ФК3) и составляют в среднем 6 %. В наименьшем количестве представлены агрессивная фракция фульвокислот (ФК 1а) и связанные с черными ГК (ФК2) фульвокислоты, составляющие в среднем 3 %.

Почвы на исследуемых золоотвалах различаются также и групповым составом гумуса: на отвале I выше общее количество экстрагируемых гумусовых веществ и гуминовые кислоты преобладают над фульвокислотами, в то время как на отвале II фульвокислоты доминируют над гуминовыми кислотами.

Анализ показал, что в почвах золоотвалов формируются разнотипные системы гумусовых веществ. В почвах с большим содержанием мелкодисперсных частиц и слабощелочной реакцией среды (отвал I) синтезируется большее количество гуминовых кислот и фульвокислот и в верхних горизонтах первые преобладают над вторыми. В почвах с меньшим содержанием глинистых частиц и слабокислой реакцией среды наибольшая доля в составе гумуса приходится на неэкстрагируемые гумусовые вещества и фульвокислоты преобладают над гуминовыми кислотами. В последнем случае система гумусовых веществ эмбриоземов близка к таковой в зональных почвах южной тайги.

Таким образом, особенности гумуса почв луговых сообществ золоотвалов зависят от физико-химических свойств золы, т. е. обусловлены особенностями почвообразующей породы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2024–0014).

Литература

1. Константинов А. О., Новоселов А. А., Лойко С. В. Особенности процессов почвообразования на участках самозарастающих золоотвалов твердотопливной теплоэлектростанции // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 43. С. 6–24.

2. Новоселов А. А. Индикаторы почвообразования на техногенных субстратах золоотвалов // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 3. С. 46–50.

3. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л. : Наука, 1975. 106 с.

4. Biological recultivation of fly ash dumps strengthening bioeconomy and circular economy in the Ural region of Russia / N. V. Lukina, E. I. Filimonova, M. A. Glazyrina, M. G. Maleva, M. N. V. Prasad, T. S. Chibrik // Bioremediation and Bioeconomy: a Circular Economy Approach. Chapter 19. Elsevier B. V. 2024. P. 499–527.

5. Features of forest communities and soils formed on an ash dump of the Middle Urals / O. Nekrasova, T. Radchenko, E. Filimonova, A. Uchaev, M. Dergacheva, T. Petrova, A. Betekhtina // Forest Ideas. 2022. Vol. 28, N 1. P. 88–99.

6. Technogenic Soils (Technosols) developed from Fly Ash and Bottom Ash from Thermal Power Stations Combusting Bituminous Coal and Lignite. Part I. Properties, classification, and indicators of early pedogenesis / L. Uzarowicz, Z. Zagorski, E. Mendak, P. Bartminski, E. Szara, M. Kondras, L. Oktaba, A. Turek, R. Rogozinski // Catena. 2017. Vol. 157. P. 75–89.

FEATURES OF THE SOIL HUMUS IN THE MEADOW COMMUNITIES OF THE MIDDLE URALS

A. P. Uchaev, O. A. Nekrasova, T. A. Radchenko
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
Yekaterinburg, Russia, Anton.Uchaev@urfu.ru

The composition of soil humus formed on the surface of ash dumps occupying significant areas in Russia and around the world has been studied. The study was conducted in the southern taiga conditions of the Middle Urals on leveled areas of 50–60-year-old dumps that were not subjected to reclamation, composed of fly ash with different physico-chemical properties. It has been established that the formation of a system of humus substances in soils on ash proceeds differently: in technosols with a high content of fine particles and slightly alkaline reaction of the medium, significantly more humic acids and fulvic acids are formed, with the former prevailing over the latter in the upper horizons, while in soils with a lower content of clay particles and slightly acidic reaction of the medium, non-hydrolyzable humus substances predominate and fulvic acids are synthesized in larger quantities than humic acids. Differences in the material composition of soils are also manifested in the peculiarities of the fractional composition of humus.

УДК 631.4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТОВ

А. Х. Хасанова, Л. В. Яковлева

Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, Астрахань
khasanova.amie@gmail.com

Аллювиальные почвы пойменных территорий отличаются высокой пространственной изменчивостью и чувствительностью к антропогенному воздействию, что обусловливает необходимость их детального изучения при различных режимах хозяйственного использования. Под влиянием распашки, орошения и длительного залежного состояния в таких почвах изменяются гранулометрический состав, содержание гумуса и реакция почвенной среды, которые являются диагностическими признаками их состояния и потенциального плодородия. Для аллювиальных почв особенно характерны изменение условий водно-воздушного и питательного режимов, что напрямую связано с устойчивостью почвенного покрова к деградации. Поскольку гранулометрический состав и гумусное состояние выступают ключевыми факторами, определяющими указанные режимы, их сравнительная характеристика при различном хозяйственном использовании представляет собой актуальную научную задачу и служит основой для оценки земель и разработки мелиоративных мероприятий [1].

Цель исследования – изучение сравнительной характеристики гранулометрического состава и гумусного состояния аллювиальных почв в условиях различного хозяйственного использования, выявление их особенностей, а также оценка значения данных показателей для качественной характеристики земель.

Объектом исследования (рис. 1) являются аллювиальные почвы разного хозяйственного использования, сформированные на рыхлых аллювиальных отложениях в пойменных условиях Астраханской области. Такие почвы отличаются выраженной пространственной неоднородностью и высокой чувствительностью к изменению режима использования, что связано со спецификой аллювиального почвообразования и периодическим воздействием увлажнения.

Отбор почвенных образцов проводился с глубины 0–20 см, 20–40 см, 40–60 см и 100 см методом конверта в трехкратной повторности на двух стационарных площадках: на пашне (200×250 м) и на залежи (200×500 м).

В лабораторных условиях определяли pH водной вытяжки из почвы потенциометрически; определение гранулометрического состава почвы по методу Н. А. Качинского (метод пипетки) [2]; содержание углерода органических веществ определяли по методу Тюрина [3].

В результате проведённого исследования получен массив данных, позволяющий оценить пространственную вариабельность гранулометрического состава и гумусного состояния аллювиальных почв в зависимости от характера хозяйственного использования.



а *б*

Рис. Спутниковый снимок объекта исследования пашни (*а*) и залежи (*б*), Камызякский район, пос. Табола Астраханской области

Почвенный покров пахотно-орошаемых и залежных земель имеет нейтральную и слабощелочную реакцию почвенной среды и представлен на пашне аллювиальными дерново-опустынивающие карбонатные солонцеватые супесчаные почвы на рыхлых аллювиальных отложениях; на залежи – аллювиальные дерново-опустынивающие карбонатные супесчаные почвы [5].

Аллювиальные почвы исследуемых объектов характеризуются лёгким гранулометрическим составом, варьируя от песчаных до супесчаных разновидностей согласно классификации Н. А. Качинского [1]. Основу почвенной массы составляют фракции физического песка: в пахотных орошаемых почвах содержание песчаных частиц достигает 60–80 %, тогда как в залежных – до 96 % в нижней части профиля.

Пахотные орошаемые почвы характеризуются преобладанием физического песка (60–80 %) с заметной долей крупно-пылеватых (16,22 %) и мелкопесчаных (7,03 %) фракций. Содержание ила (<0,001 мм) варьирует по профилю от 1 % до 25 %; в поверхностных горизонтах 1–5 %, на глубине 20–60 см 15–25 %; на глубине 60–100 см содержание илистой фракции снижается до 3 %, что указывает на миграцию тонкодисперсных частиц при инфильтрации и оглинивание первичных минералов.

Аллювиальная почва залежи более песчаная, доля физического песка на глубине 0–20 см достигает 69–74 %, на глубине 40–100 см содержание фракции составляет более 90 %. Фракция мелкого песка в верхнем слое не превышает 1 %. Содержания илистой фракции (< 0,001 мм) залежи на глубине 0–20 см варьирует от 1,1 до 2 %, что значительно ниже по сравнению с орошаемой почвой.

Процесс гумусообразования в аллювиальных пахотно-орошаемых и залежных почвах протекает на фоне нейтральной и слабощелочной реакции среды (pH 7,1–7,6). Наибольшее содержание гумуса зафиксировано в пахотно-орошаемых аллювиальных почвах, относящихся к активно используемым сельскохозяйственным угодьям.

В верхнем гумусовом горизонте содержание гумуса составляет в среднем 4–6 %, что является удовлетворительным уровнем для аридных условий. Однако с глубиной отмечается тенденция к резкому снижению данного показателя, на глубине 40–60 см содержание гумуса составляет 3–4 %, а в нижних слоях (60–100 см) не превышает 1,40 %. Такое распределение характерно для агрогенно-трансформированных почв, подвергающихся орошаемому земледелию и механической обработке [4], что ускоряет минерализацию органического вещества и способствует сокращению гумусированного профиля.

В залежных аллювиальных почвах гумусное состояние верхнего горизонта значительно ниже, содержание гумуса на глубине 0–20 см не превышает 1,11 %, что указывает на слабое развитие почвообразовательных процессов при отсутствии сельскохозяйственной нагрузки.

В нижележащих горизонтах отмечено относительное накопление органического углерода, что, вероятно, связано с миграцией растворимых гумусовых соединений по профилю и их частичной аккумуляцией в иллювиальных горизонтах. Данная закономерность может объясняться рыхлой структурой почвы и преобладанием песчаных и пылеватых фракций, способствующих вертикальной миграции органического вещества.

По степени гумусированности пахотно-орошаемые аллювиальные почвы относятся к гумусным (содержание гумуса 3–6 %), аллювиальные почвы залежи – слабогумусным (содержание гумуса 0,5–1,5 %). Неоднородность распределения содержания гумуса по профилю отражает как природные условия, аридность климата, генезис, так и антропогенные воздействия.

По результатам проведённого исследования установлено, что аллювиальные пахотно-орошаемые почвы характеризуются высокой степенью антропогенной нагрузки и относительно повышенным содержанием гумуса. В условиях орошения и систематической обработки формируются более благоприятные условия для аккумуляции органического вещества, однако одновременно усиливаются процессы минерализации гумуса и перераспределения тонкодисперсных частиц по профилю. Это проявляется, как и в особенностях строения почвенного профиля, так и в изменении соотношения механических фракций.

Аллювиальные залежные почвы характеризуются меньшей степенью антропогенного воздействия и характеризуются низким содержанием органического вещества и выраженной неоднородностью гранулометрического состава. Отсутствие регулярной обработки и орошения способствует сохранению природных особенностей почвообразования, однако ограничивает накопление органического вещества.

Сравнительный анализ свидетельствует о том, что аллювиальные пахотные почвы отличаются более высокими показателями гумусированности, тогда как аллювиальные залежные почвы отражают стадию восстановления и естественной эволюции почвенного профиля после прекращения сельскохозяйственной нагрузки. По результатам гранулометрического состава аллювиальные почвы залежи, а также пашни, представлены супесчаными и песчаными разновидностями. На обоих участках обнаруживается тенденция снижения содержания глинистых частиц.

Таким образом, характер хозяйственного использования является одним из факторов, определяющих различия в свойствах аллювиальных почв и их качественной характеристике.

Литература

1. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. Москва : Росинформагротех, 2003. 240 с.

2. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 2015-04-01. М. : Стандартинформ, 2015. 24 с.

3. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 1993-01-01. М. : Изд-во стандартов, 1992. 8 с.

4. Достова Т. М. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на гумусное состояние почв // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 10 (159). С. 249–251.

5. Хасанова А. Х., Колесников С. И., Яковлева Л. В. Физико-химические свойства аллювиальных почв разного хозяйственного использования // Естественные науки. 2025. № 2(19). С. 47–57. DOI: 10.54398/2500–2805.2025.19.2.006. EDN DSMPYM.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION AND HUMUS STATUS OF ALLUVIAL SOILS IN AGRICULTURAL LANDSCAPES

A. Kh. Khasanova, L. V. Yakovleva
Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev, Astrakhan
khasanova.amie@gmail.com

Alluvial soils of floodplain areas are highly sensitive to anthropogenic impact, necessitating their study under different land use regimes. This research provides a comparative analysis of the granulometric composition and humus state of alluvial soils under plowed irrigated and fallow conditions in the Astrakhan region. Soil samples were collected from depths of 0, 20, 40, 60, and 100 cm. Granulometric analysis was performed by the pipette method (Kachinsky), and organic carbon was determined by the Tyurin method. The studied alluvial soils have a light texture, ranging from sandy to loamy sand. Plowed irrigated soils are dominated by sand fractions (60–80 %), while fallow soils contain up to 90 % sand in the lower profile. Clay fraction accumulation (up to 25 %) is observed in deeper horizons. Humus content in plowed irrigated soils reaches 4–6 % in the upper layer, classifying them as humus-rich, whereas fallow soils show very low humus content (less than 1.11 %), corresponding to weakly humus soils. A decrease in humus with depth and accumulation of silt fractions in lower horizons were found regardless of land use. These results are important for qualitative land assessment and the development of reclamation measures in arid environments.

УДК 631.459

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭРОЗИИ ПОЧВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

А. В. Хирк[1]*, А. П. Жидкин[1], М. А. Комиссаров[1,2]

[1]Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва, khirk_av@esoil.ru
[2]Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа

На Бугульминско-Белебеевской возвышенности (ББВ) активно проявляется эрозия почв. При этом оценки темпов смыва разными авторами имеют большой разброс [2]. Отличительной чертой ББВ, по сравнению с остальной Европейской частью России является небольшая продолжительность массовой распашки земель. Она составляет около 100–140 лет, а по оценкам [3] – всего 85 лет. При этом в первую очередь осваивались земли с малыми уклонами, что определило характер протекания эрозии почв.

Цель работы заключалась в изучении свойств почв, строения и степени эродированности почвенного покрова, оценках факторов и особенностей математического моделирования эрозионно-аккумулятивных процессов в восточной части ББВ на примере исследований двух различных по физико-географическим условиям участков.

Исследования были проведены на двух участках Чишмы и Уфимский, расположенных в восточной части ББВ. Участки исследования расположены в лесостепной зоне. Рельеф восточной части ББВ представлен увалисто-холмистым плато и его расчлененность составляет до 2 км/км^2. Для обоих участков характерно большое количество распахиваемых узких ложбин и потяжин. На Уфимском участке также распространены карстовые процессы, что оказывает значительное влияние на свойства почв и строение почвенного покрова [1]. На участках Чишмы и Уфимский почвообразующие породы представлены эллювием и деллювием пермских пород, а также аллювиальными и озерно-аллювиальными отложениями. Подстилающими являются породы нижнего подъяруса уфимского яруса пермской системы. Почвенный покров участков несколько различается. На участке Чишмы основном распространены черноземы типичные и выщелоченные. На Уфимском участке помимо черноземов имеются темно-серые лесные и лугово-черноземные почвы.

Темпы ливневой эрозии были рассчитаны с помощью эрозионной модели WaTEM/SEDEM v. 2004. Для расчёта в качестве входных параметров использовались факторы эрозии почв параметризованные на обоих участках. Агроландшафты участков Чишмы и Уфимский имеют близкие значения LS-фактора. Эродируемость почв (K-фактор) была рассчитана по данным анализа гранулометрического состава и содержания органического вещества пахотных горизонтов почв. Эродируемость почв на участке Чишмы оказалась связана с поч-

вообразующими и подстилающими породами. Тогда как на участке Уфимский эродируемость почвенного покрова зависела от типа и подтипа почв.

Оценка степени эродированности почвенного покрова проводилась на основе полевого обследования мощностей гумусированной толщи почв. Мощность гумусированной толщи несмытых почв составляет в среднем 60 см и варьирует от 50 до 70 см. На обоих участках в примерно 50–60 % точек обследования были диагностированы не- и слабосмытые почвы; 20–25 % – среднесмытые; 4–5 % почв были диагностированы как сильносмытые.

Рассчитанные по эрозионному моделированию темпы смыва почв, на пашне участка Чишмы составляют от 0,3 до 6,2 т/га в год, а средний темп смыва почв равняется 2,1 т/га в год. На пашне участка Уфимский темпы смыва варьируют от 0,3 до 4,9 т/га в год, а средний темп смыва почв составляет 1,4 т/га в год. Таким образом, исследованные участки в основном имеют низкие потенциальные темпы смыва почв, только на некоторых отдельных склонах выявлены потенциальные темпы смыва почв >10 т/га в год (рис.).

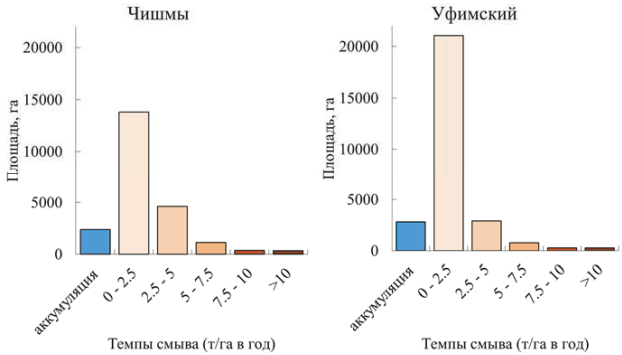


Рис. Гистограмма эрозионно-аккумулятивных процессов на участках исследования

На участке Чишмы увеличение степени эродированности почв согласуется с расчётными темпами эрозии. Однако расчетные темпы смыва значительно ниже, чем по оценкам почвенно-морфологическим методом. Так, для среднесмытых почв расчетные темпы смыва составили 7–10 т/га в год, тогда как по оценкам почвенно-морфологическим методом за агрикультурный период 120 лет темпы смыва должны были составлять около 18–30 т/га в год. Для слабосмытых почв расчетные темпы составили в среднем 5,1 т/га в год, а по почвенно-морфологическому методу должны составлять 9–18 т/га в год.

На участке Уфимский чёткой связи между степенью эродированности почв и темпами эрозии не выявлено. Темпы эрозии значимо отличались только для сильносмытых почв. Однако, так же как на участке Чишмы, были занижены по сравнению с почвенно-морфологическим методом и составляли всего 6 т/га в год.

Таким образом, моделирование темпов эрозии почв позволило выявить структуру эрозионно-аккумулятивных процессов. Однако по сравнению с оценками по почвенно-морфологическому методу, рассчитанные по модели

темпы эрозии ниже в 2–5 раз. Такое расхождение может быть связано с несколькими ограничениями. Во-первых, из-за небольшого периода сельскохозяйственного использования, отклонение в длительности распашки ±20 лет оказывает существенное влияние на получаемые по почвенно-морфологическому методу темпы эрозии почв. Во-вторых, варьирование значений эталонных мощностей гумусированной толщи, из-за сложного микрорельефа, который значительно влияет на структуру почвенного покрова.

Специфика почв и проявлений водной эрозии на ББВ затрудняет моделирование эрозионно-аккумулятивных процессов. Поэтому в восточной части ББВ необходимы расширенные исследования эрозии с учётом выявленных локальных почвенных особенностей, которые могут быть использованы для верификации модельных расчётов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00071-П, https://rscf.ru/project/22-17-00071/).

Литература

1. Жидкин А. П., Комиссаров М. А. Эрозионно-аккумулятивные микроструктуры почвенного покрова в лесостепной зоне Предуралья Республики Башкортостан // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2020. № 1(53). С. 12–20.

2. Шамшурина Е. Н., Комиссаров М. А., Жидкин А. П. Эрозия почв в Республике Башкортостан: исторический обзор, современное состояние и перспективы дальнейших исследований // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 4(52). С. 60–69.

3. Soil loss on the arable lands of the forest-steppe and steppe zones of European Russia and Siberia during the period of intensive agriculture / V. N. Golosov, A. L. Collins, N. G. Dobrovolskaya [et al.] // Geoderma. 2021. Vol. 381. P. 114678.

FEATURES OF MANIFESTATIONS AND MODELING OF SOIL EROSION IN THE EASTERN PART OF THE BUGULMA-BELEBEY UPLAND

A. V. Khirk[1], A. P. Zhidkin[1], M. A. Komissarov[1,2]
[1]V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, khirk_av@esoil.ru
[2]Ufa Institute of Biology UFRC RAS, Ufa

The Bugulma-Belebey Upland (BBU) is recognized as an active soil erosion zone within the European Territory of Russia (ETR). However, the duration of widespread agricultural land use here is estimated at only 85–140 years, which is several times shorter than the ETR average. This study aimed to investigate soil properties, the structure and degree of soil cover erosion, and to assess the factors and features of mathematical modeling of erosion-accumulation processes in the eastern part of the BBU. The research was conducted on arable land in two sites, covering 22,000–28,000 hectares, located in the Chishminsky and Ufimsky districts of the Republic of Bashkortostan. The average estimated soil loss rates at the sites were 1.4–2.1 t/ha per year. Moderately eroded soils accounted for 20–25 % of the survey points, while highly eroded soils accounted for 4–5 %. Soil erosion rate estimates obtained through the WaTEM/SEDEM model were 2–5 times lower than those obtained using the soil-morphological (truncation) method at points with moderately and severely eroded soils.

УДК 631.41

ОЦЕНКА СУММАРНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ЗОНЫ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС

В. А. Чаплыгин, Т. М. Минкина, С. С. Манджиева, Н. П. Черникова, А. Е. Смехунов

Академия биологии и медицины им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, chaplygin@sfedu.ru

Территории вокруг промышленных предприятий, в первую очередь энергетической и химической отраслей, являются одними из важнейших объектов многолетнего экологического мониторинга, требующими пристального наблюдения. Наиболее распространенными и опасными среди содержащихся в атмосферных выбросах предприятий поллютантов являются тяжелые металлы (ТМ). Одной из особенностей, делающей ТМ опасными загрязняющими веществами, служит их кумулятивное действие, т. е. сохранение токсических свойств на протяжении длительного периода времени. При этом ТМ проявляют высокую токсичность, при содержании в объектах окружающей среды даже в следовых количествах, что делает их изучение актуальным в настоящее время [14; 15].

В последние десятилетия стали популярными исследования химического состава лекарственных растений из-за резкого увеличения интереса к фитотерапии во всем мире. Фитотерапия представляет собою комплекс простых технологий профилактики и лечения различных заболеваний с использованием препаратов, приготовленных из лекарственных растений [5; 16; 17]. Также актуальна аккумуляция ТМ в растениях в аграрных регионах, к числу которых относится и Ростовская область. Промышленные предприятия, зачастую, располагаются в относительной близости от сельскохозяйственных угодий, что при несоблюдении зоны отчуждения представляет угрозу для здоровья населения. Именно в таких условиях изучение уровня загрязнения ТМ почв и растений имеет наибольшую важность, позволяя прогнозировать последствия техногенной нагрузки на природные среды [12].

Объекты и методы. В качестве места проведения мониторинговых исследований была выбрана зона вокруг филиала ПАО «ОГК-2» «Новочеркасская» ГРЭС (НчГРЭС) – крупнейшего в Ростовской области предприятия, загрязняющего окружающую среду ТМ невелико [6; 11] В выбросах НчГРЭС содержится большое количество таких ТМ, в том числе Mn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd и Zn [10].

На расстоянии от 1 до 20 км от НчГРЭС были заложены площадки мониторинга. Выбор мест расположения площадок был обусловлен наличием на их территории всего перечня изучаемых видов лекарственных травянистых растений. Площадки мониторинга № 4–6, № 8–10 и № 13 заложены на линии преобладающего северо-западного и прилегающего к нему северо-северо-западного направлений ветров. Участки № 1, № 2, № 3, № 7, № 11, № 12, № 16, № 17 находятся на расстоянии 1–3 км, а № 14, № 15, № 18 и № 19 на расстоянии 4–

9,5 км в различных направлениях от НчГРЭС. Площадка № 9 условно принята за фоновую ввиду значительной удаленности (15 км) от электростанции, а также отсутствия иных источников техногенного воздействия. Площадка № 10 удалена от НчГРЭС на 20 км, однако расположена в V-образном пространстве между двумя крупными автотрассами, служащими дополнительными источниками поступления поллютантов в почву.

Отбор образцов растений полыни австрийской (*Artemisia austriaca* Pall. ex. Wild.), тысячелистника благородного (*Achillea nobilis* L.), цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) и пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) (семейство *Asteraceae*) а также пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) и мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) (семейство *Poaceae*), осуществлялся во второй декаде июня, на которую приходится массовое цветение травянистых растений. В отобранных пробах растений определялись ТМ представленные Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Mn и Cr. Минерализация образцов изучаемых растений осуществлялась посредством сухого озоления согласно ГОСТ 26657-85. Экстракция элементов из полученной золы проводилась с помощью 20%-ного раствора HCl. Содержание ТМ в образцах определялось методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии (ААС) [9].

Уровень загрязнения почв ТМ оценивался при помощи расчета суммарного показателя загрязнения (Z_c). Zc представляет из себя отношение суммы коэффициентов концентрации (K_c) элементов I, II и III классов токсикологической опасности и фоновых значений [8]. Данный показатель рассчитывается по формуле:

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^{n} K_c \right) - (n-1),$$

где K_c – коэффициент концентрации *i*-го химического элемента, имеющий значение большее или равное 1, *n* – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Коэффициент концентрации (Kc) рассчитывается по формуле:

$$K_c = C_i / C_{\text{фон}},$$

где C_i – фактическое содержание элемента; $C_{\text{фон}}$ геохимический фон.

Важно отметить, что значение K_c должно быть больше 1 если речь идет о загрязнении, т. е. значение фактической концентрации должно превышать значение фоновой концентрации [4]. Поэтому подходы, предлагающие учет Kc только при соблюдении того, что $K_c > 1$ [2; 7], дают более объективную картину загрязнения.

Данный показатель принято рассчитывать для валового содержания элементов в почве [1], однако в текущем исследовании был проведен его расчет для различных видов лекарственных травянистых растений, произрастающих в импактной зоне, поскольку именно поступившие в растения загрязняющие вещества имеют возможность дальнейшего перемещения по трофической цепи, в конце которой находится человек. В качестве геохимического фона в формуле расчета Z_c для растений использовался временный максимально допустимый

уровень содержания химических элементов в кормах сельскохозяйственных животных [3]. Выбор данного показателя обусловлен тем, что нормативы содержания ТМ в травах принято применять только к надземной части растений, в то время как у ряда изучаемых видов лекарственным сырьем служат корни, и применение ПДК для лекарственных препаратов к их надземной части не правомерно. Для Mn в качестве фона было взято содержание в почве и растениях на площадке № 9.

Результаты. Расчеты суммарного показателя загрязнения были проведены для различных видов травянистых растений изучаемой импактной зоны и выявили значительно более высокий уровень техногенной нагрузки. За исключением надземной части полыни австрийской, для всех растений на площадках № 4 и № 5 (1,2–1,6 км на СЗ от источника выбросов) установлен либо высокий, либо очень высокий уровень загрязнения (табл.). Очень высокий уровень загрязнения отмечается для тысячелистника, пижмы, пырея на площадке № 4 и для пижмы на площадке № 5. Также, высокий уровень загрязнения наблюдается для большинства исследуемых видов растений на площадке № 6, на площадках № 1, № 7, № 13 для пижмы и на площадке № 7 для полыни. Такая локализация загрязнения на площадках северо-западного направления, а также в пределах 2 км от предприятия указывает на его антропогенное происхождение.

Таблица

Суммарный показатель загрязнения различных видов травянистых растений ТМ на площадках мониторинга

№ площадки	Расстояние и направление	Полынь	Тысячелистник	Пижма	Цикорий	Мятлик	Пырей
1	1 СВ	23,3	29,8	39,6	14,7	19,5	28,9
2	3 ЮЗ	3,2	24,6	29,8	8,0	14,5	14,2
3	2,7 ЮЗ	3,5	16,0	22,6	5,4	7,7	8,3
4	1,6 СЗ	4,5	130,5	201,7	74,2	80,3	144,2
5	1,2 ССЗ	5,2	91,5	157,7	61,2	64,1	100,7
6	2,9 СЗ	5,3	53,2	116,4	36,8	47,2	59,4
7	1,5 С	34,3	18,9	49,3	13,8	18,6	26,6
8	6,9 СЗ	2,0	32,2	51,9	14,6	21,9	30,1
9	15 СЗ	1,9	7,7	27,2	8,4	3,8	10,5
10	20 СЗ	4,0	8,4	9,0	4,3	1,4	4,1
11	1,2 Ю	4,2	21,0	30,0	10,1	11,4	11,9
12	1,1 В	6,2	18,0	26,1	11,9	13,5	20,0
13	5,7 ССЗ	5,0	24,1	53,3	16,3	15,9	20,8
14	4,3 СВ	15,8	13,0	18,6	5,6	6,0	16,6
15	3,8 Ю	2,7	8,8	12,4	4,8	5,9	3,6
16	2,2 ЮВ	3,7	18,7	28,9	8,5	9,9	13,3
17	2,1 В	4,4	15,7	20,1	5,4	8,6	8,1
18	6,8 З	3,1	5,9	29,0	9,0	9,0	10,8
19	9,4 ЮЗ	1,6	5,0	10,3	3,5	4,0	3,4

Примечание: <16 – низкий, 16–32 – средний, 32–128 – высокий, >128 – очень высокий.

Важно отметить, что для величин показателя Z_c не наблюдается каких-либо закономерностей, связанных с принадлежностью растений к определенным семействам. В то же время для таких показателей, как коэффициент накопления или акропетальный коэффициент они четко прослеживаются [13;

16]. Это вызвано селективностью аккумуляции ТМ каждым отдельным видом растений и её общими тенденциями для семейств, не учитываемыми при расчете Zc, дающим общую картину загрязнения.

На площадках № 1 и № 7 отмечается средний уровень загрязнения для тысячелистника, мятлика и пырея, а также для полыни на площадке № 1. Площадки № 1, 2, 3, 16, 17, находящиеся на расстоянии 1–2,2 км от НчГРЭС имеют низкий или средний показатель суммарного загрязнения для всех изучаемых растений. Наименьшие величины данного коэффициента установлены на площадках № 9, 10, 14, 15, 18 и 19, удаленных от предприятия на расстояние от 3,8 до 20 км в различных направлениях. Это указывает на общее снижение уровня техногенной нагрузки по мере удаления от источника атмосферных выбросов. Исходя из полученных данных, полынь австрийская является наименее загрязненным среди изучаемых видов растений. Самым высокий уровнем загрязнения ТМ характеризуется пижма обыкновенная. Не установлено связи между принадлежностью растений к определенному семейству и величинами рассчитанного Zc. Zc позволяет оценить общий уровень загрязнения ТМ как почв, так и растений, однако не учитывает видовую специфику последних.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-77-10097-П) в Южном федеральном университете.

Литература

1. Андреев Д. Н. Экогеохимическая диагностика антропогенной трансформации особо охраняемых природных территорий // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2013. № 3. С. 3–9.

2. Водяницкий Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280.

3. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках 123-4/281-8-87 / Гос. агропром. комитет СССР; Гл. упр. ветеринарии. М., 1987.

4. Оценка степени опасности загрязнения почв по комплексному показателю нарушенного геохимического поля / С. Г. Выборов, А. И. Павелко, В. Н. Щукин, Э. В. Янковская // Современные проблемы загрязнения почв : материалы Междунар. науч. конф. М., 2004. С. 195–197.

5. Загурская Ю. В., Коцупий О. В., Сиромля Т. И. Листья Padus avium (Rosaceae) из техногенно нарушенных экотопов как источник биологически активных веществ // Растительный мир Азиатской России. 2018. № 4. С. 102–107.

6. Закруткин В. Е., Шишкина Д. Ю. Некоторые аспекты распределения меди и цинка в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области // Тяжелые металлы в окружающей среде : материалы Междунар. симп. Пущино, 1997. С. 101–109.

7. Кашулина, Г. М., Чекушин В. А., Богатырев И. В. Физическая деградация и химическое загрязнение почв Северо-Запада Европы // Современные проблемы загрязнения почв : материалы II Междунар. науч. конф. М., 2007. Т. 2. С. 74–78.

8. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. Утв. 15 мая 1990 г. № 5174–90 / Ревич Б. А., Сает Ю. Е., Смирнова Р. С. М. : ИМГРЭ, 1990.

9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М. : ЦИНАО, 1992. 61 с.

10. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга / Т. М. Минкина, С. С. Манджиева, В. А. Чаплыгин, О. Г. Назаренко, А. Ю. Максимов, И. В. Замулина, М. В. Бурачевская, С. Н. Сушкова // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24, № 3 (76). С. 43–55.

11. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2019 году // Экологический вестник Дона. Ростов-на-Дону, 2019. С. 283.

12. Gladkov E. A. Evaluation of complex phytotoxicity of heavy metals and definition of estimated allowable concentrations for zinc and copper // Agricultural Biology. 2010. Vol. 6. P. 94–99.

13. Fractional and group composition of zinc and lead compounds as an indicator of the environmental status of soils / S. S. Mandzhieva, T. M. Minkina, G. V. Motuzova, S. E. Golovatyi, N. N. Miroshnichenko, N. K. Lukashenko, A. I. Fateev // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47, N 5. P. 511–518. DOI: 10.1134/S1064229314050159

14. Pukalchik M., Mercl F., Terekhova V. A., Tlustoš P. Biochar, wood ash and humic substances mitigating trace elements stress in contaminated sandy loam soil: evidence from an integrative approach // Chemosphere. 2018. Vol. 203. P. 228–238. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.181

15. Antimicrobial compounds of plant origin as efflux pump inhibitors: new avenues for controlling multidrug resistant pathogens / M. Rao, S. Padyana, K. M. Dipin, S. Kumar, B. B. Nayak, M. F. Varela // Journal of Antimicrobial Agents. 2018. 4:1. DOI: 10.4172/2472–1212. 1000159.

16. Smolinska B., Rowe S. The potential of Lepidium sativum L. for phytoextraction of Hg-contaminated soil assisted by thiosulphate // J. Soils Sediments. 2015. N 15. P. 393–400. DOI: 10.1007/s11368–014–0997-y

17. Ecological and Biogeochemical Assessment of Elemental and Biochemical Composition of the Vegetation of Anthropogenically Disturbed Ecosystems (Based on the Example of Achillea millefolium L.) / A. I. Syso, T. I. Syromlya, M. A. Myadelets, A. S. Cherevko // Contemporary Problems of Ecology. 2016. Vol. 9, N 5. P. 643–651.

18. Assessment of Columbia River Sediment Toxicity to White Sturgeon: Concentrations of Metals in Sediment, Pore water and Overlying Water / D. W. Vardy, J. A. Doering, R. Santore, A. Ryan, J. P. Giesy, M. Hecker // J. Environ. Anal. Toxicol. 2015. Vol. 5, N 2. P. 1–13.

ASSESSMENT OF THE MEDICINAL PLANTS TOTAL POLLUTION INDICATOR IN THE NOVOCHERKASSK POWER PLANT TECHNOGENIC IMPACT ZONE

V. A. Chaplygin, T. M. Minkina, S. S. Mandzhieva, N. P. Chernikova, A. E. Smekhunov
D. I. Ivanovsky Academy of Biology and Medicine, Southern Federal University, Rostov-on-Don, chaplygin@sfedu.ru

Based on previously obtained results of studying the chemical composition of medicinal plants in the Novocherkassk GRES impact zone, the total pollution index (Zc) of the vegetation cover of the study area was calculated. The hazard level of technogenic load on various parts of the impact zone was assessed. The distribution patterns of various chemical elements in the areas around a large industrial facility were studied. The highest level of pollution is observed within a radius of 2 km from the source of technogenic load. Individual patterns of pollutant accumulation relative to background values by various species of medicinal herbaceous plants of the *Asteraceae* and *Poacea*e families were demonstrated. *Artemisia austriaca* was found to be the least contaminated among the studied plant species, while the highest level of heavy metal pollution was found for *Tanacetum vulgare*.

УДК 631.48

ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ УСТЬ-ОРДЫНСКОГО БУРЯТСКОГО ОКРУГА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Г. И. Черноусенко

Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва
chergi@mail.ru

В Иркутской области находится один из самых больших в мире по территории и запасам Ангаро-Ленский солевой бассейн, в котором добываются миллионы тонн соли. Добыча соли из соленых источников Усольского месторождения известна с начала XVIII в. [3]. Несмотря на это засоленные почвы встречаются здесь фрагментарно, занимая незначительные площади. Основных факторов этого несколько: глубина залегания солей и засоленных подземных вод (более 300 м), КУ близкий к 1 или выше, значительная залесенность территории (более 80 %). В местах, где подземные воды в виде родников выходят на поверхность засоление почв, наблюдается и в таежной зоне [4; 11]. Засоленные почвы, в том числе Усть-Ордынского Бурятского округа, являлись объектом исследования многих ученых [1; 2; 4–10; 13–18]. В основном засоленные почвы приурочены к долинам рек [2; 10; 11; 16]. Чаще засоление и наличие солонцеватых почв отмечается в лесостепной и степной зонах Иркутской области, что связано с дефицитом увлажнения в вегетационный период и выходами по бортам долин засоленных, часто загипсованных пород.

В данном сообщении рассматривается засоление почв шести наиболее освоенных в сельском хозяйстве районов Усть-Ордынского Бурятского округа (УОБО) Иркутской области. Объектами исследования послужили засоленные и солонцеватые почвы. Были исследованы их свойства, а также распространение в пространстве с расчетом площадей

Результаты и обсуждение. Анализ свойств и площадей засоленных почв проводился по двум направлениям. В программе Excel была создана база данных, в которую вошли аналитические данные по 141 разрезу округа, содержащих результаты водных вытяжек, позволяющие оценить химизм, степень и глубину засоления по профилю. Также туда были добавлены данные (в случае их наличия) по грансоставу, pH, карбонатности, содержанию гипса. В 2017 г. была зарегистрирована база данных по засоленным почвам Иркутской области [7], но так как она закрыта, использовать её не представилось возможным. В таблице представлены результаты данных по медиане значений ряда характеристик засоленных почв районов и округа в целом. Почвы в основном среднесуглинистые (от легкого до тяжелого суглинка), среднекарбонатные (от карбонатных до сильнокарбонатных по [1]), слабощелочные. Степень засоления в разных районах различается от слабой в Баяндаевском и Боханском районе до сильной в Нукутском, при этом в целом по базе данных доминирует средняя степень засоления. Химизм засоления также различается по районам округа. В целом преобладает сульфатный химизм с гипсом натриево-магниевый. Преоб-

ладание в гипссодержащих почвах среди катионов магния было статистически доказано ранее [18].

Таблица

Свойства засоленных почв Усть-Ордынского Бурятского округа Иркутской области [по 14].

Район, округ	Химизм	Степень засоления	pH	$CaCO_3$, %	Гипс, % (% в выборке по ВВ)	Физ. глина <0,01 мм, %
Усть-Ордынский Бурятский округ	**Сульфатный с гипсом натриево-магниевый**	**средняя**	**7,8**	**18 (0,4–69)**	**8 (0,04–99, по ВВ есть в 52 %)**	**36 (9–91)**
Аларский	Хлоридно-сульфатный магниево-натриевый	средняя	8,0	19 (0–55)	Нд (15 %)	47 (19–63)
Баяндаевский	Сульфатный с токсичной щелочностью натриевый	слабая	7,6	41 (12–77)	Нд (13 %)	40 (14–71)
Боханский	Сульфатный магниевый	слабая	7,8	36 (8–59)	Нд (49 %)	28 (12–49)
Нукутский	Сульфатный с гипсом натриево-магниевый	сильная	7,88	11 (0,4–37)	7 (0. 04–94, по ВВ в 71 %)	29 (9–52)
Осинский	Сульфатный с гипсом натриево-магниевый	средняя	7,6	нд	Нд (74 %)	33 (27–44)
Эхирит-Булагатский	Сульфатный с гипсом натриево-магниевый	средняя	7,96	28 (2–59)	18 (0. 1–99, по ВВ есть в 63 %)	42 (16–65)

Аналитических определений содержания гипса немного, в основном оценка проведена по данным водных вытяжек, согласно которым такой химизм преобладает в Нукутском, Осинском, Эхирит-Булагатском районах и возможно в Боханском. На СВ округа в более влажных позициях начинает доминировать сульфатный химизм с токсичной щелочностью, которая определяется не содой, а гидрокарбонатом магния. на ЮЗ в Аларском районе преобладает хлоридно-сульфатный магниево-натриевый химизм.

Другим направлением, по которому происходил анализ, было картографическое. Проведенные ранее исследования карт и очерков 266 хозяйств Иркутской области, показали, что площади ими занимаемые составляют в разных районах области от 0 до 34,3 тыс. га. Общая площадь засоленных почв УОБО по 57 хозяйствам составила 51,83 тыс. га, колеблясь по районам от 3,7 тыс. га в Нукутском, до 13,4 тыс. га в Эхирит-Булагатском районах [15]. Причем в ряде других районов, например в Качугском, Усольском, Куйтунском площади засоленных почв были выше (от 14 до 34 тыс. га) [15]. Подобное распределение засоленных почв было несколько странно. Точность этих данных зависит в первую очередь от полноты наличия карт хозяйств. Нами были получены дополнительные карты на рассматриваемую территорию и данные площадей были скорректированы. На настоящий момент в наличии имеется 68 карт хозяйств округа, согласно которым общая площадь засоленных почв округа составила 74,11 тыс. га. Значительно возросли площади в Эхирит-Булагатском (25,03 тыс. га) и Баяндаевском (19,2 тыс. га) районах. Некоторое сомнение вызывает незначительная площадь засоленных почв в Нукутском гипсоносном районе, в кото-

ром согласно почвенной карте Надеждина М 1:200 000 [12] широко распространены солонцеватые черноземы. Возможно, это связано с их более глубоким засолением во втором метре профиля, что при картировании Росгипроземом не определялось и не учитывалось.

Для оценки засоления почв округа нами была создана серия карт засоления почв, подробно рассмотренная в [16]. В основу создания карт положен перекрестный анализ 73 почвенных карт: 68 крупномасштабных почвенных карт хозяйств масштаба 1:25 000, рассмотренных выше, двух почвенных среднемасштабных карт округа, трех мелкомасштабных почвенных карт, а также двух мелкомасштабных карт, отражающих засоление почв. Границы контуров проводились с учетом данных дистанционного зондирования (ДДЗ), топографических карт и цифровой модели рельефа (ЦМР SRTM).

Сравнительная оценка химизма засоления почв округа согласно базе данных и созданным картам показана на рисунке. Как хорошо видно на диаграммах в округе по обоим расчетам однозначно преобладает сульфатный химизм засоления.

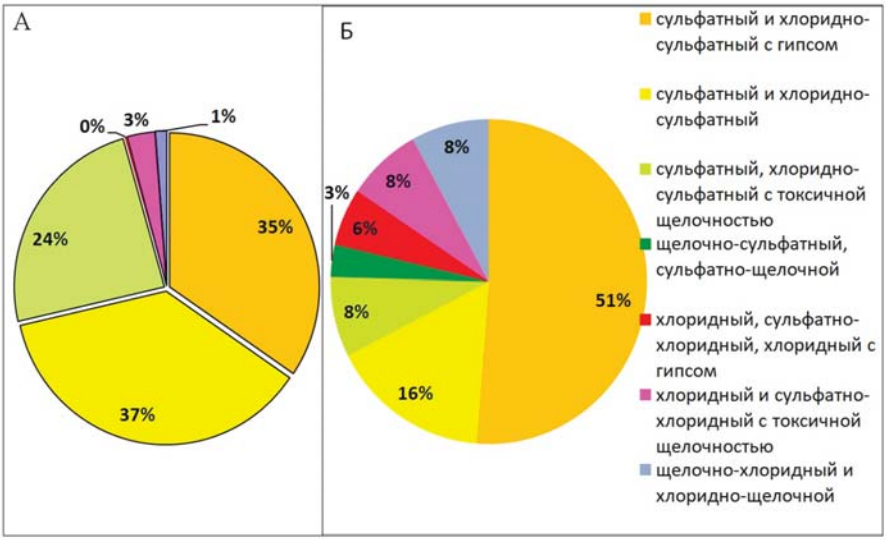


Рис. Химизм засоления почв Усть-Ордынского Бурятского округа по материалам созданной карты (А) и материалам аналитической базы данных (Б)

Тем не менее есть ряд различий. Согласно базе данных однозначно преобладает сульфатный химизм засоления с гипсом, что не подтверждается расчетами по картам. Также в базе шире представлены почвы, имеющие другой химизм засоления, часто хлоридный, что на карте отражено на меньших площадях. С дугой стороны на картах шире распространен сульфатный химизм с токсичной щелочностью, связанной с гидрокарбонатом магния.

Заключение. На территорию Усть-Ордынского Бурятского округа создана аналитическая база данных свойств засоленных почв (141 разрез).

Также в среде ArcInfo создана серия карт М 1:300 000: Карта распространения засоленных почв по глубине с учетом процента участия засоленных почв в контуре; карта химизма с учетом степени засоления и карта распространения солонцов и солонцеватых почв с учетом гидроморфизма и процента участия в контуре. Всего в округе выделено 346 контуров площадью 365 тыс. га с разной долей участия в них засоленных почв. По средним оценкам диапазонов на этой территории засоленные в первом метре почвенного профиля почвы занимают 63±25 тыс. га, что в целом совпадает с оценкой с оценкой по картам Росгипрозема – 74 тыс. га.

Выводы

1. Подтверждено однозначное преобладание сульфатного химизма засоления почв, что отмечалось ранее на картах.
2. Уточнено, что среди сульфатного химизма велика доля сульфатного засоления с гипсом, ранее на картах не выделяемого, которое преобладает в почвах средней и сильной степени засоления.
3. Впервые выделено наличие сульфатного засоления с токсичной щелочностью, в большинстве случаев определяемой гидрокарбонатом магния.
4. Впервые показано, что в засоленных почвах округа среди катионов магний часто преобладает над натрием.
5. Расчеты и анализ свойств засоленных почв необходимо проводить по карте, но с обязательным учетом аналитических материалов баз данных. Точность оценки зависит от полноты используемых материалов, наличия аналитических данных, подтверждающих или опровергающих наличие засоления.

Работы выполнялись в рамках госзадания Минобрнауки FGUR-2025-0001: «Исследовать внутриполевую неоднородность, трансформацию, эволюцию, деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации на основе сочетания наземных обследований и цифровых технологий».

Литература

1. Засоленные почвы России. М. : Академкнига, 2006. 854 с. EDN: YHNJJH
2. Киселева Н. Д., Лопатовская О. Г. Особенности профильного распределения гипса в некоторых почвах Приангарья // Вестник КрасГАУ. 2010. № 9. С. 17–22.
3. Коровин М. К. Усольское месторождение каменной соли в Иркутской губернии. Томск : тип.-лит. Томск. ж. д., [Известия СТИ]. 1927. Т. 48, вып. 3. 82 с.
4. Кузьмин В. А. Случаи нахождения засоленной почвы под лесом // Почвоведение. 1962. № 1. С. 11–114.
5. Лопатовская О. Г. Особенности педогалогенеза эколого-мелиоративных комплексов Западного Прибайкалья : дис. … д-ра биол. наук. Иркутск, 2019. 366 с.
6. Почвы техногенных ландшафтов гипсового рудника «Новонукутский» в Приангарье / О. Г. Лопатовская, В. Г. Двуреченский, С. Л. Лазарева, Н. Д. Киселева // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2012. № 2. С. 81–87
7. Лопатовская О. Г., Самойлова Е. А. Свидетельство о государственной регистрации № 2017620536 базы данных «Физико-химические свойства засоленных почв Предбайкалья». Дата рег. в Реестре баз данных: 17 мая 2017 г.
8. Мартынов В. П. Почвы горного Прибайкалья. Улан-Удэ, 1965. 165 с

9. Морозова К. В. Водно-растворимые соли в южных черноземах Кудинской лесостепи // Почвы юга Средней Сибири. Иркутск : ИГУ, 1988. С. 49–55.

10. Надеждин Б. В. Лено-Ангарская лесостепь. М. : АН СССР, 1961. 327 с.

11. Николаев И. В. Почвы Иркутской области. Иркутск, 1949. 404 с.

12. Почвенная карта Усть-Ордынского Национального округа. М 1:200 000 / сост. Надеждин Б. В. 1959.

13. Хисматуллин Ш. Д. Засоленные почвы речных долин Верхнего Приангарья // Труды I Сибирской конференции почвоведов. Красноярск, 1962. С. 298–315.

14. Черноусенко Г. И. Анализ свойств засоленных почв Усть-Ордынского Бурятского округа Иркутской области // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2026. Вып. 127. С. 73–92. DOI: 10.19047/0136-1694-2026-127-73-92. EDN: LQOAPY

15. Черноусенко Г. И., Королева П. В. Засоленные почвы Иркутской области на крупномасштабных почвенных картах // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2025. Вып. 122. С. 229–255. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-122-229-255. EDN: HLPGLF

16. Черноусенко Г. И., Королева П. В., Рухович Д. И. Карта засоления почв Усть-Ордынского Бурятского округа Иркутской области // Почвоведение. 2026. № 3. С. 437–453. DOI: 10.7868/S3034561826030022. EDN: VMMZSI

17. Черноусенко Г. И., Лопатовская О. Г., Ямнова И. А. Распространение, химизм и генезис засоленных почв Предбайкалья // География и природные ресурсы. 2005. № 2. С. 84–92. EDN: QGQWXZ

18. Черноусенко Г. И., Хитров Н. Б., Панкова Е. И. Магний в засоленных гипссодержащих почвах России // Почвоведение. 2023. № 7. С. 815–830. https://doi.org/10.31857/S0032180X23600026. EDN: VPHWGC

SALINE SOILS OF THE UST-ORDA BURYAT DISTRICT OF THE IRKUTSK REGION.

G. I. Chernousenko
V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, chergi@mail.ru

A comparative assessment of the properties and areas of saline soils in the Ust-Orda Buryat Okrug was conducted using a developed analytical database, nonparametric statistics, and a series of maps. Estimates from these sources do not always match. The predominance of sulfate-based saline soils, often with gypsum, was confirmed in the district. This is the first time that sulfate-based salinization with toxic alkalinity associated with magnesium bicarbonate has been identified. Soils saline predominantly by chlorides, including those with toxic alkalinity, are also present, but are not prevalent.

УДК 631.4

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ И КАЧЕСТВЕННЫЙ УЧЕТ АРТЕФАКТОВ В ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ КАК ЭЛЕМЕНТ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

А. А. Шешукова, К. А. Бахматова, А. В. Русаков, Д. О. Лагуткина, М. Р. Леонтьева

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, a.sheshukova@spbu.ru

Важнейшей причиной трансформации почв в процессе урбанизации является попадание на их поверхность твердофазных материалов антропогенного происхождения, а также создание насыпных слоев, которые становятся субстратом почвообразования. Насыпные слои могут быть представлены строительным мусором, городскими отходами, золой, шлаком, или представлять собой намывной материал. К числу самых распространенных и массовых по количеству техногенных включений в почвах относятся кирпич, шлак и строительный раствор [7]. В настоящее время в России антропогенные включения (без разделения на группы) учитываются при классификации городских почв [1], а детальное исследование морфологии и химического состава включений проводится в основном в рамках судебно-почвоведческой экспертизы (Пеленева и др., 2012 г.), методические разработки которой применяются в отдельных случаях к изучению генезиса городских почв [2]. Среди зарубежных ученых детальную классификацию артефактов предложили Д. Ховард и К. Орлики [8]. Детальное исследование и количественный учет артефактов в почвах проводятся редко, ввиду значительной трудоемкости, например, в работе французских исследователей [9] для обеспечения репрезентативности было просеяно и отсортировано до 1,5 т почвы (образцы по 50 кг каждый, отобранные по глубине 1,5–11 м).

Установлено, что каменистые включения, в том числе и антропогенного генезиса, влияют на порозность почвы, формирование запасов воды и питательных веществ, передвижение влаги в профиле, проницаемость почвы для корней и состав выветривающихся минералов [6]. Что касается собственно артефактов, то их присутствие может быть фактором, определяющим направление процессов почвообразования и эволюции почв в городской среде [5; 3]. Так, техногенные включения нередко повышают pH и электропроводность почв [5]. Наиболее высоким значением pH (10–12 ед.) отличаются штукатурка и асбестоцементное покрытие крыши. Перечисленные компоненты отличаются и наиболее высокой электропроводностью.

Поскольку почвы Санкт-Петербурга (исключая Ижорский ландшафтный район) формируются на бескарбонатных породах, то антропогенные включения являются важным, если не единственным, источником карбоната кальция в городских почвах [11]. Показано, что связанное с техногенными источниками увеличение содержания Ca и Mg и обусловленный этим рост pH способствуют возрастанию подвижности P – элемента, аккумуляция которого характерна для

культурного слоя [10]. Кроме того, артефакты в отдельных случаях могут быть источниками тяжелых металлов в почвах (остатки металлургических производств, свинцовые стекла, цинковые белила и т. д.) [4], при этом химический состав артефактов характеризуется высокой неоднородностью, связанной, в том числе, с процессами их преобразования в почве.

Роль артефактов в формировании физических и химических характеристик почв особенно значима для Петербурга, где природные почвы исторического центра сформированы на легких по гранулометрическому составу, кислых и бедных породах, в которых природные каменистые включения отсутствуют или представлены небольшим количеством частиц 1–3 мм.

Учитывая вышесказанное, антропогенные включения в почвах необходимо принимать во внимание при санитарно-гигиенической оценке территории и оценке пригодности почв для зеленых насаждений. Учет затрудняется тем, что тип артефактов и их количество значительно варьируют на разных уровнях пространственной организации почв. Для разработки подходов к количественному и качественному учету артефактов в городских почвах Санкт-Петербурга нами были исследованы два профиля: 1. Урбостратозем техногенный карбонатсодержащий супесчаный. Каменный остров, наб. Малой Невки. Землепользование на месте бывшей усадьбы купчихи Петровой. 2. Урбостратозем техногенный темногумусовый карбонатсодержащий легкосуглинистый на погребенной дерново-подзолистой почве на моренном суглинке. Парк «Сергиевка», в 1,5 м от у бывшего Банного домика усадьбы Лейхтенбергского. Строение почвенных профилей представлено на рисунке.

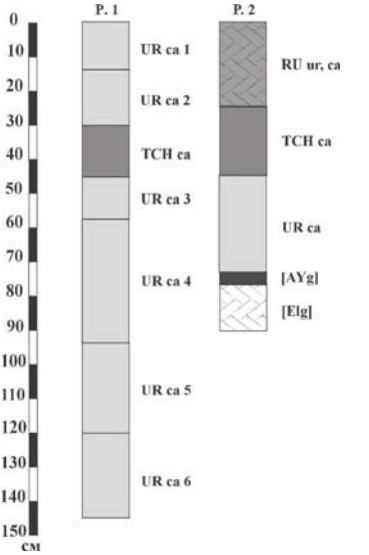


Рис. Схема строения почвенных разрезов:
1 – урбостратозем на Каменном острове, *2* – урбостратозем парка Сергиевка

Для обоих профилей проведено морфологическое описание, с последующим ручным разбором включений крупнее 10 мм. Для включений в диапазоне от 1 до 10 мм разбор и учет производились путем просеивания высушенной почвы через стандартную колонку сит. Для почвы, описанной на Каменном острове, был проведен количественный учет включений разного типа в профиле в целом, для почвы в парке Сергиевка – учет количества включений разных размерных групп по горизонтам. В почвах также были определены pH водной суспензии, содержание углерода органических соединений (по Тюрину) и содержание карбоната кальция (ацидиметрическим методом).

Результаты исследований представлены в табл. 1–3. В разрезе на Каменном острове от общего количества включений (в штуках) антропогенные составили 86 %. Среди антропогенных включений в обоих разрезах преобладают обломки кирпича разной величины. В профиле на Каменном острове они были представлены обломками диаметром 2–5 см, реже – 5–10 см, сосредоточенными преимущественно в средней и нижней частях профиля (30–105 см). В парке Сергиевка все антропогенные включения были приурочены к верхней части профиля, при этом большая часть обломков кирпича (от 2–5 мм до 10–15 см) залегает в промежутке от 15 до 47 см. Другие антропогенные включения в этом профиле: осколки оконного стекла и керамики, уголь, строительный щебень, известковый строительный раствор, а также обрывок проволоки. Включения в том и другом случаях образуют компактные скопления в техногенных горизонтах (ТСН) – в разрезе на Каменном острове это слой плотно прилегающих друг к другу кирпичей, в парке Сергиевка – отсыпка ранее существовавшей дорожки из гранитного щебня. Такие скопления, в случае кирпича (из-за его пористости), насыщены мелкими всасывающими корнями, однако представляют преграду для проникновения крупных опорных корней деревьев и для свободного проникновения влаги. Присутствие в составе включений известкового строительного раствора способствует подщелачиванию почв и появлению $CaCO_3$ в почвах, подстилаемых изначально бескарбонатными породами (аллювиально-морские супеси и моренные суглинки, соответственно) (табл. 3).

Таблица 1

Содержание артефактов разного типа (в % от общего количества в шт.) в урбостратоземе на Каменном острове

Тип артефактов	Содержание, %
Кирпич в целом	71,2
Известковый строительный раствор	13,4
Асфальт	0,8
Керамика (кроме кирпича)	3,8
Изразцовая плитка	0,5
Каменный уголь	4,4
Стекло	0,8
Шлак	2,3
Гранитная щебенка	2,0
Прочее (железная скоба, целлофан, фольга, шифер, бетон)	0,8

Таблица 2

Распределение крупнозема в урбостратоземе парка Сергиевка (масс. %)

Горизонт	Крупнозем		>10 мм	10–7 мм	7–5 мм	5–3 мм	3–2 мм	2–1 мм	< 1 мм
	>1 мм	>2 мм							
RU ur, ca 0–25см	31,4	23,7	12,8	1,3	1,9	3,2	4,5	7,7	68,6
TCH ca 25–45 см	82,5	79,3	57,4	3,4	6,3	9,8	3,2	2,4	17,5
UR ca 45–73	38,7	30,6	17,2	2,1	2,0	4,4	4,9	8,1	61,3

Таблица 3

Базовые химические характеристики урбостратоземов

Горизонт, слой	Глубина взятия образца, см	$pH_{водн.}$	Сорг., % (по Тюрину)	$CaCO_3$, %
Урбостратозем техногенный карбонатсодержащий, Каменный остров				
UR ca 1	0–15	7,5	5,9	3,4
URca 2	15–30	7,5	5,7	1,1
TCH	30–46	7,7	3,0	2,3
URca 3	46–57	8,0	2,9	5,7
URca 4	57–94	8,1	0,8	19,3
URca 5	96–120	8,1	0,7	12,5
URca 6	120–145	8,4	0,1	13,6
Урбостратозем техногенный темногумусовый карбонатсодержащий, парк Сергиевка				
RU ur, ca	0–25	6,98	2,94	0,09
TCH ca	25–45	7,74	2,31	0,38
URca	45–73	7,55	0,28	0,09

Заключение. Таким образом, наиболее массовый тип артефактов в исследованных почвах, как и в почвах других городов мира, – обломки кирпича. Преобладающий размер включений варьирует по горизонтам и в целом зависит от истории конкретной городской локации. Плотные слои включений могут препятствовать проникновению древесных корней и стеканию гравитационной влаги. Инертные включения, с учетом занимаемого ими объема, снижают расчетные запасы углерода и элементов питания в почве. Включения, содержащие известь, увеличивают pH почв, что влияет на подвижность тяжелых металлов в почвах, и должно учитываться при оценке техногенного загрязнения. Обе использованные методики количественного изучения включений отличаются высокой трудоемкостью, что ограничивает их применение рамками научных исследований и не позволяет рекомендовать их для применения в рамках стандартной экологической или производственной оценки почв.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-24-00375 по теме «Разработка методических подходов к изучению количества и качественных характеристик антропогенных включений в городских почвах (на примере Санкт-Петербурга».

Литература

1. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России / Т. В. Прокофьева, М. И. Герасимова, О. С. Безуглова, К. А. Бахматова, А. А. Гольева, С. Н. Горбов, Е. А. Жарикова, Н. Н. Матинян, Е. Н. Наквасина, Н. И. Сивцева // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.

2. Семенюк О. В., Градусова О. Б., Пеленева М. В. Оценка антропогенной преобразованности почв музея-усадьбы «Архангельское» на примере изучения включений // Вестник Московского университета. 2013. Сер. 17. № 2. С. 35–41.

3. Construction and demolition waste in urban soils as a factor controlling their diversity / A. Greinert, A. Piernik, U. Grande, P. Hulisz // Geoderma. 2024. Vol. 449. 117019.

4. Contribution of technic materials to the mobile fraction of metals in urban soils in Marracech (Morocco) / H. E. El Khalil, C. Schwartz, O. E. Hamiani, J. Kubiniok, J. L. Morel, A. Boularbah // J. of Soils and Sediments. 2008. Vol. 8, N 1. P. 17–22.

5. Greinert A., Kostecki J. Anthropogenic Materials as bedrock of urban Technosols // Urbanization: Challenge and Opportunity for Soil Function and Ecosystem Services. Conference proceedings, SUITMA 2017. Book series Springer Geography / eds. Vasenev V [et al.]. Springer Int. Publ., 2019. P. 11–20.

6. Hartemink A., Minasny B. Towards digital soil morphometrics // Geoderma. 2014. Vol. 230–231. P. 305–317.

7. Heavy metals and benzo[a]pyrene in soils from construction and demolition rubble / S. Abel, T. Nehls, B. Mekiffer, G. Wessolek // J. of Soils and Sediments. 2015. Vol. 15. P. 1771–1780.

8. Howard J. L., Orlicki K. M. Composition, micromorphology and distribution of microartifacts in anthropogenic soils, Detroit, Michigan, USA // Catena. 2016. Vol. 138. P. 103–116.

9. Identification of the artifact contribution to two urban Technosols by coupling a sorting test, chemical analysis, and a least absolute residual procedure / T. Lenoir, M. Duc, L. Lassabatere, K. Bellagh // J. of Soils and Sediments. 2019. Vol. 19. P. 683–701.

10. Phosphorus sorption characteristics and related properties in urban soils in southeast China / Z. Wei, X. Yan, Z. Lu, J. Wu // Catena. 2019. Vol. 175. P. 349–355.

11. Prokof'eva T. V., Shishkov V., Kiriushin A. Calcium carbonate accumulations in Technosols of Moscow city // J. of Soils and Sediments. 2021. Vol. 21. P. 204902058.

QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ACCOUNTING OF ARTIFACTS IN URBAN SOILS AS AN ELEMENT OF THEIR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

A. A. Sheshukova, K. A. Bakhmatova, D. O. Lagutkina, M. R. Leonteva
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, a.sheshukova@spbu.ru

УДК 631.4

ASSESSMENT OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF CULTIVATED CHESTNUT SOILS IN NORTHEN MONGOLIA

B. Enkhtuya[1], J. Enkhbat[1], M. Saikhanchimeg[1], D. Amarjargal[1], Sh. Ganbaatar[2]

[1]School Agroecology and Business of Mongolian University of Life Sciences, Mongolia
[2]Mongolian University of Science and Technology, Mongolia,
Msoilhabitat@gmail.com

Introduction

Soil fertility is a key factor for sustainable agricultural development and food security [1]. Agriculture plays a crucial role in Mongolia's economy and national food security. Selenge Province, located within the Central Agricultural Region, is the country's major grain-producing area and contributes substantially to national crop production [2]. However, long-term cultivation, intensive tillage practices, and insufficient replenishment of organic matter have led to soil degradation and a gradual decline in soil fertility [3].

Chestnut soils are among the dominant agricultural soils in Selenge province. Their productivity largely depends on soil organic matter content, nutrient availability, soil reaction, and texture characteristics Continuous agricultural use can alter these properties and reduce crop productivity [4]. Therefore, periodic assessment of soil agrochemical properties is essential for sustainable land management and effective fertilizer recommendations [5].

Previous studies in Mongolia have reported decreases in soil organic matter and nutrient reserves in cultivated lands. Nevertheless, detailed field-scale assessments remain limited for many agricultural enterprises. The present study aimed to evaluate the agrochemical properties and fertility status of cultivated chestnut soils in Selenge Province, and to identify relationships among major soil fertility indicators through correlation analysis using NSIS data.

The development of digital soil information systems provides new opportunities for large-scale soil monitoring and decision-making. [6] The National Soil Information System (NSIS), developed under the AFACI initiative, represents an important tool for integrating soil data and supporting sustainable soil management in Mongolia

Materials and Methods

The study was based on data from the National Soil Information System (NSIS) developed under the AFACI project. The Selenge provinces belongs to the Central Agricultural Region and is characterized by a continental climate with cold winters and warm summers. Annual precipitation ranges from approximately 250 to 350 mm, with most rainfall occurring during the growing season. Chestnut soils are the predominant soil type and are extensively used for cereal production. Soil samples were collected from cultivated fields of agricultural enterprises located in Selenge province. A total of 189 sampling sites were collected from crop land of 3 agricultural

company in June of 2024. Soil sampling was conducted at two depth intervals: 0–30 cm topsoil's and 30–60 cm subsoil of cultivated fields of Selenge Province.

Soil properties analysis

A total of 378 topsoil samples (half from 0–30 cm and half of 30–60 cm) and were analyzed for pH (soil water suspension), humus content (%), nitrate nitrogen($N–NO_3$), available phosphorus(P_2O_5), exchangeable potassium(K_2O), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}). Laboratory analyses were conducted using standard soil analytical procedures.

Statistical Analysis

Data analysis included descriptive statistics, analysis of variance (ANOVA), and correlation analysis. Descriptive statistics, including mean, minimum, maximum, and standard deviation, were calculated for all soil properties. Pearson correlation analysis was performed to evaluate relationships among soil chemical and physical parameters. Statistical significance was assessed at $p < 0.05$ and $p < 0.01$.

Results

The cultivated chestnut soils were slightly alkaline, with an average pH of 7.59. Electrical conductivity and salinity values were very low, indicating the absence of salinity-related constraints. Organic matter content averaged 2.55 %, corresponding to a moderate fertility level. Available phosphorus averaged 2.73 mg/100 g and exchangeable potassium averaged 11.46 mg 100 g. The descriptive statistics of the analyzed soil properties are presented in Table 1.

Table 1. Descriptive statistics of agrochemical properties of cultivated chestnut soils

N	Parameter	Unit	Mean	SD	Min	Max
1	pH	–	7.59	0.58	5.41	8.9
2	Organic matter	%	2.55	1.21	0.31	6.33
3	Electrical conductivity (EC)	dS m^{-1}	0.071	0.098	0.007	1.067
4	Nitrate nitrogen ($N–NO_3$)	mg/kg	0.32	0.87	0	12
5	Available phosphorus (P_2O_5)	mg/100 g	2.73	2.1	0.28	10.2
6	Exchangeable potassium (K_2O)	mg/100 g	11.46	7.14	0	52

Available phosphorus content was relatively low, suggesting that phosphorus deficiency may limit crop productivity in some fields.

Correlation Analysis

Organic matter showed strong positive relationships with exchangeable nutrients and clay content, indicating its central role in nutrient retention. Negative correlation with sand content suggests lower fertility in coarse-textured soils. These results confirm that both organic matter and soil texture are key controlling factors of soil fertility in the study area. Correlation analysis showed significant relationships among soil properties (Table 2).

Table 2. Significant correlations among soil properties, (**p < 0.01)

Variables	r
Organic matter – Ca	0. 704**
Organic matter – Clay	0. 583**
Organic matter – K_2O	0. 512**
Organic matter – Sand	-0. 569**
pH – Organic matter	-0. 557**

Pearson correlation analysis revealed several significant relationships among soil properties. The strongest positive correlation was observed between organic matter and exchangeable calcium (r = 0.04, $p < 0.01$). Organic matter also showed significant positive correlations with clay content (r = 0.583, p < 0.01) and exchangeable potassium (r = 0.512, p < 0.01). Conversely, organic matter was negatively correlated with sand content (r = −0.569, p < 0.01) and soil pH (r = −0.557, p < 0.01). These findings indicate that soils with finer texture tend to accumulate greater amounts of organic matter and nutrients.

Conclusion

1. Chestnut soils in the arable lands of Mongolia's are characterized by a slightly alkaline reaction and relatively low humus content.
2. The most significant vertical changes were observed in pH and humus content.
3. A positive correlation between humus and exchangeable calcium indicates the important role of organic matter in soil fertility formation.
4. The National Soil Information System (NSIS) is an effective tool for monitoring agrochemical soil status and supporting sustainable soil management in Mongolia.
5. The findings provide valuable information for site-specific soil fertility management and sustainable crop production in Mongolia

Acknowledgements. This study was conducted within the framework of the AFACI Soil + project *"National Soil Information Systems to Support the Transformation of Agrifood Systems in AFACI Countries"*. The authors gratefully acknowledge AFACI, RDA, Republic of Korea for financial and technical support.

References

1. Lal, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability, 7*(5), 5875–5895
2. Mijiddorj, J. 2003. Main directions for the agroecology of crop farming. Agriculture, no. 3
3. Tuul, D. 2015. *Current status of soil fertility in cultivated lands.* In: *Soils and Land Surface of Mongolia*. Proceedings of the Institute of Geography and Geoecology Conference, pp. 48–52
4. Enkhtuya B. et al. 2025. *National Soil Information Systems to Support the Transformation of Agrifood Systems in AFACI Countries.* AFACI *Project Report*
5. Merkusheva, M. G. 2008. *Organic Matter of the Soils of Transbaikalia*. Ulan-Ude, Russia
6. FAO. 2018. *Soil fertility status in Mongolia and sustainable land management*. Rome

ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАХОТНЫХ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

Б. Энхтуяа[1], Ж. Энхбат[1], М. Сайханчимэг[1], Д. Амаржаргал[1], Ш. Ганбаатар[2]
[1]Монгольский сельскохозяйственный университет, Монголия,
[2]Монгольский университет науки и технологий, Darkhan, Монголия
Msoilhabitat@gmail.com

В рамках проекта «Национальные системы информации о почвах для поддержки трансформации агропродовольственных систем в странах AFACI» Монголия разрабатывает Национальную систему информации (NSIS), о почвах направленную на улучшение мониторинга почвенных ресурсов и оценки плодородия сельскохозяйственных почв. Цель данного исследования заключалась в оценке агрохимических свойств каштановых почв пахотных земель Северной Монголии с использованием данных NSIS. Результаты показали статистически значимое снижение содержания гумуса с глубиной почвенного профиля и увеличение pH в подповерхностном горизонте. Почвы характеризовались слабощелочной реакцией со средним значением pH 7,59 и не имели ограничений по засолению (EC = 0,071 dS $м^{-1}$). Среднее содержание органического вещества составило 2,55 %, что указывает на умеренный уровень плодородия. Содержание подвижного фосфора в среднем составило 2,73 мг/100 г, что свидетельствует о относительно низком обеспечении фосфором, тогда как обменный калий в среднем составлял 11,46 мг/100 г. Сохранение органического вещества и улучшение управления фосфором являются ключевыми условиями устойчивого сельскохозяйственного производства в регионе. Результаты подтверждают применимость данных NSIS для оценки плодородия почв и принятия решений в области устойчивого землепользования в Монголии.

Научное издание

ПОЧВА КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Материалы
VI Международной научно-практической конференции,
посвященной 95-летию
направлению подготовки «Почвоведение» в ИГУ
Иркутск, 3–6 сентября 2026 г.

ISBN 978-5-9624-2512-2

Материалы публикуются в авторской редакции.
Дизайн обложки: *П. О. Ершов*

Темплан 2026 г. Поз. 71
Уч.-изд. л. 23,0

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет»
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1; тел. +7 (3952) 51-19-00
Издательство ИГУ, 664082, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124
тел. +7 (3952) 52-18-53; e-mail: izdat@law.isu.ru

Подписано к использованию 02.09.2026
Тираж 13 экз. Объем 24,0 Мб

Тип компьютера, процессор, частота:	32-разрядный процессор, 1 ГГц или выше
Оперативная память (RAM):	256 МБ
Необходимо на винчестере:	320 МБ
Операционные системы:	ОС Microsoft® Windows® XP, 7, 8 или ОС Mac OS X
Видеосистема:	Разрешение экрана 1024×768
Акустическая система:	Не требуется
Дополнительное оборудование:	Не требуется
Дополнительные программные средства:	Adobe Reader 6 или выше