

ОБЩЕСТВО ПОЧВОВЕДОВ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

ПОЧВЫ – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС РОССИИ

Материалы пленарных докладов
VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева
и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв

Сыктывкар, 2020-2022 гг.

Часть 1
(расширенная и дополненная)



Москва – Сыктывкар

2022

УДК 631.4(063)

ББК 40.3

П 65

Почвы – стратегический ресурс России : материалы пленарных докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020-2022 гг.). Часть 1. (Расширенная и дополненная) / отв. ред.: С.А. Шоба, И.Ю. Савин, Е.М. Лаптева. – Москва – Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2022. – 137 с.

В сборнике представлены материалы докладов, прозвучавших на пленарной сессии VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Дополнительно в него включены тезисы докладов, не вошедшие в опубликованные электронные версии сборников тезисов докладов VIII съезда (часть 2 – тезисы докладов, поступившие в Оргкомитет съезда для участия в работе симпозиумов съезда; часть 3 – для участия в работе комиссий, подкомиссий и рабочих групп Общества почвоведов).

При издании сборника проведено техническое редактирование поступивших для публикации статей и тезисов. Сущность научных текстов не изменена. Ответственность за научное содержание несут авторы.

Ответственные редакторы:

чл.-корр. РАН С.А. Шоба, акад. РАН И.Ю. Савин, к.б.н. Е.М. Лаптева

ISBN: 978-5-6046344-3-1 (Часть 1. Расширенная и дополненная)

ISBN: 978-5-6043449-3-4

DOI: 10.31140/book-2022-05

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2022

Организаторы VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева



СЫКТЫВКАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени Питирима Сорокина

ОБЩЕСТВО ПОЧВОВЕДОВ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА

Правительство Республики Коми

Федеральный исследовательский центр

«Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

Партнеры и спонсоры VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева



Общество с ограниченной
ответственностью
«ЛУКОЙЛ-Коми»



Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения



Акционерное общество
«Монди Сыктывкарский
ЛПК»



Вятский государственный
университет



Общество с ограниченной
ответственностью
«МИЛЛАБ Система»



Вятская государственная
сельскохозяйственная академия



Коми отделение
Сбербанка России



Институт геологии
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН



Банк ВТБ (Публичное
акционерное общество)



Институт агробиотехнологий
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН



Администрация
МО ГО «Воркута»



Финно-угорский этнопарк

ПРЕДИСЛОВИЕ

Съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева – важное событие в жизни научного сообщества. Он проводится один раз в четыре года. Традиционно площадками для организации работы съезда выбирают ведущие научные и учебные центры России. Первый съезд Общества почвоведов состоялся в Москве (1992), последующие съезды проводились в Санкт-Петербурге (1996), Суздале (2000), Новосибирске (2004), Ростове-на-Дону (2008), Петрозаводске (2012) и Белгороде (2016). Очередной VIII съезд Общества почвоведов им. В. В. Докучаева должен был состояться в августе 2020 г. на базе Института биологии ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук». Проведение съезда почвоведов в г. Сыктывкаре поддержало руководство Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» и Правительство Республики Коми. Информация о составах Программной (научной) комиссии и Организационного комитета VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева доступна на сайте съезда: <https://ib.komisc.ru/add/conf/soil2020/>.

Почвы – значимый компонент наземных экосистем, они играют важную роль в сохранении биоразнообразия на Земле, поддержании устойчивого функционирования биосферы, снижении и смягчении экологических проблем, особенно в условиях современных климатических трендов, решении продовольственной программы страны. Не случайно девиз VIII съезда почвоведов: «Почвы – стратегический ресурс России».

Организационный комитет съезда принял более 820 заявок на участие в съезде и 790 тезисов докладов. На съезде в рамках пленарных заседаний, симпозиумов и секций (комиссий, подкомиссий и рабочих групп) предполагалось обсудить широкий круг вопросов, посвященных актуальным проблемам современного почвоведения, земледелия, мелиорации, функций почв и почвенного покрова в биосфере.

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19 нарушила планы почвоведов России и стран ближнего зарубежья. Из-за введенных в стране ограничений на проведение массовых мероприятий Центральный совет Общества перенес проведение съезда на август 2022 г. до улучшения эпидемиологической обстановки. Было принято решение: начать последовательное проведение заседаний съезда в онлайн формате, не дожидаясь официальных сроков съезда; опубликовать поступившие тезисы докладов и сборник избранных статей в серии конференций *IOP* с открытым доступом.

Основная часть заседаний комиссий, подкомиссий и рабочих групп прошла в онлайн формате в период с апреля 2021 г. по июнь 2022 г. На онлайн-заседаниях было заслушано и обсуждено более 400 гласных докладов по различным проблемам почвоведения в рамках работы следующих секций:

(А) I комиссия: Физика почв совместно с подкомиссией по физико-механическим свойствам и технологии почв

Председатель – д.б.н. Е.В. Шеин

- Теория, методы и практические приложения в физике и механике почв.

(В) II комиссия: Химия почв

Председатель – д.б.н. Д.Л. Пинский

- Химический состав и свойства естественных и нарушенных почв, почвенно-химические аспекты эволюции и трансформации почв.
- Поглощительная способность почв; ее роль в трансформации и миграции химических веществ в почвах.
- Почвенно-химический мониторинг состояния почв: методологические и методические аспекты.
- Методология и методы изучения химических свойств почв.

(С) Подкомиссия: Органическое вещество почв

Председатель – д.б.н. С.Н. Чуков

- Химические, физические и биологические механизмы стабилизации органического вещества почв.
- Органическое вещество почв: эмиссия и сток углерода в условиях изменяющегося климата.
- Гуминовые препараты: экотехнологии и биомедицина.
- Гумус почв современных агроценозов.
- Эволюция гумусовых веществ погребенных и палеопочв.

(D) Подкомиссия: Химическое загрязнение почв

Председатели – д.б.н. Д.Л. Пинский, д.б.н. Т.М. Минкина

- Источники загрязнения, аккумуляция, трансформация, миграция загрязняющих веществ в почвах.

- Влияние загрязняющих веществ на химические, биологические, физические свойства почв.
- Нормирование содержания загрязняющих веществ в почвах и ремедиация загрязненных почв.
- Радиоэкология почв.

(Е) III комиссия: Биология почв

Председатель – д.б.н. А.Л. Степанов

- Биоразнообразие почв и методы его изучения.
- Геохимическая деятельность почвенных микроорганизмов и устойчивость наземных экосистем.
- Экобиотехнологии в почвоведении.

(F) IV комиссия: Агрохимия и плодородие почв

Председатель – акад. РАН В.Г. Сычев

- Динамика показателей плодородия почв при применении различных систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах.
- Комплекс мер по регулированию плодородия почв сельскохозяйственного использования.
- Экологические проблемы, связанные с применением удобрений, и пути их решения.

(G) V комиссия: Генезис, география и классификация почв

Председатель – д.геогр.н. С.В. Горячкин

- Генезис и эволюция почв различных областей России и мира.
- Структуры почвенного покрова на разных уровнях организации.
- Глобальная и макрорегиональная география почв и ее отражение на картах.
- Классификация почв России и проблемы ее использования в различных регионах.

(H) Подкомиссия: Картография почв

Председатель – акад. РАН И.Ю. Савин

- Цифровое картографирование и мониторинг почв и их свойств.
- Картографирование лесного почвенного покрова.
- Дистанционные и бесконтактные методы картографирования и мониторинга почв и их свойств.
- Почвенно-географические базы данных.

(I) Подкомиссия по лесному почвоведению

Председатель – чл.-корр. РАН Н.В. Лукина

- Влияние изменений климата, прошлой и современной антропогенной деятельности на лесные почвы.
- Прогнозирование динамики лесных почв в условиях комбинированного действия природных и антропогенных факторов.
- Роль лесных почв в формировании экосистемных функций и услуг лесов.

(J) Подкомиссия по агроэкологической и кадастровой оценкам почв и земель

Председатель – д.с.-х.н. П.М. Сапожников

- Агроэкологическая оценка почв в условиях адаптивно-ландшафтных систем земледелия.
- Кадастровая стоимость сельскохозяйственных угодий в различных почвенно-географических условиях.

(К) Подкомиссия: Почвы и окружающая среда

Председатели – д.б.н. В.М. Алифанов, д.б.н. Т.А. Зубкова

- Проблемы закономерных соотношений между почвой и средой формирования в их взаимодействии и развитии.
- Функции почв в биосфере и экосистемах.
- Почвенные показатели (индикаторы) для устойчивого землепользования.

(L) Подкомиссия по Красной книге и особой охране почв

Председатель – к.б.н. О.В. Чернова

- Теоретические и методические аспекты особой охраны почв.
- Концепция и структура Красной книги почв России.
- Проблемы подготовки и реализации Красной книги почв в субъектах Федерации.
- Эталонные, редкие и исчезающие почвы – объекты Красной книги и основа фонового почвенного мониторинга.
- Почвы заповедников, заказников, национальных парков, памятников природы.

(M) Рабочая группа по мерзлотным почвам

Председатель – к.геогр.н. Д.Е. Конюшков

- Мир мерзлотных почв: география, генезис, свойства, режимы, экосистемные функции, проблемы охраны и использования.

(N) Рабочая группа по исследованию черноземов

Председатель – д.б.н. О.С. Безуглова

- Современное состояние и эволюция черноземов.

(O) Рабочая группа по аридным землям

Председатель – д.б.н. З.Г. Залибеков

- Почвы аридных регионов юга России и их эволюция в условиях современного климатического потепления.
- Почвенные процессы, связанные с проявлением опустынивания и аридизации территории.

(P) Рабочая группа «Нормативно-правовое сопровождение охраны и использования почвенных ресурсов»

Председатель – д.б.н. А.С. Яковлев

- Научные и правовые основы нормирования качества почв и земель.
- Эколого-землеустроительное планирование территории как основа рационального использования и охраны почв и земель.
- Научные и правовые основы рационального и экологически безопасного обращения с отходами в различных условиях землепользования.

- Отечественный и зарубежный опыт нормативно-правового регулирования качества почв и земель.

(Q) Комиссия по палеопочвоведению

Председатель – д.б.н. А.О. Макеев

- Палеоландшафтные реконструкции по данным природных и антропогенных архивов: палеопочвы, педоседименты и геоархеологические объекты.

(R) VI комиссия: Мелиорация почв

Председатель – д.с.-х.н. Н.Б. Хитров

- Изменение почв в условиях антропогенного воздействия разной длительности.
- Свойства, режимы почв, естественные и антропогенно вызванные процессы, ограничивающие или снижающие эффективность использования почвенных ресурсов.
- Меры предупреждения развития и приемы устранения явлений и процессов, препятствующих рациональному использованию почвенных ресурсов.

(S) Подкомиссия по мелиорации избыточно-переувлажненных почв

Председатель – чл.-корр. РАН Л.И. Инишева

- Гидроморфные почвы: свойства, режимы, генезис, классификация, плодородие, использование.
- Фундаментальные и прикладные проблемы процесса заболачивания территории.
- Мелиорация органогенных и минеральных гидроморфных почв.

(T) Подкомиссия по охране почв от эрозии

Председатель – д.с.-х.н. Н.П. Масютенко

- Моделирование и прогнозирование эрозии почв и её последствий.
- Проблемы классификации эродированных почв.
- Защита почв от эрозии.

(U) Подкомиссия по рекультивации нарушенных и загрязненных земель

Председатели – д.б.н. В.А. Андроханов, д.б.н. Л.П. Капелькина

- Технологии восстановления нарушенных почв.
- Свойства и режимы рекультивированных почв.
- Оценка почвенно-экологической эффективности рекультивационных мероприятий.
- Исследование процессов восстановления различных компонентов биогеоценоза на техногенно нарушенных землях.
- Совершенствование нормативно-правовой базы для проведения рекультивационных работ.

(V) VII комиссия: Минералогия почв

Председатель – к.б.н. Т.В. Алексеева

- Минералы почв и процессы естественного и антропогенного почвообразования.
- Методы изучения минерального состава почв – новые возможности и новые подходы.

(W) Подкомиссия по микроморфологии почв

Председатели – д.с.-х.н. М.П. Лебедева, к.б.н. М.А. Бронникова

- Морфология и микроморфология современных моно- и полигенетических почв, палеопочв как ключ к реконструкции почвообразовательных процессов и природной среды.
- Микроморфологическая диагностика почвообразовательных процессов антропогенного-нарушенных почв и техногенных поверхностных образований.

(X) Комиссия по педометрике

Председатель – д.б.н. В.П. Самсонова

- Цифровые технологии для сельскохозяйственного производства.
- Методы Data Mining для создания моделей почвенного покрова.
- Геостатистические методы при картографировании.
- Бутстреп для оценки качества параметров моделей в экологии и почвоведении.

(Y) Комиссия по истории, философии и социологии почвоведения

Председатели – д.геогр.н. И.В. Иванов, д.б.н. О.А. Макаров

- История научных идей, эвристический потенциал. Что нового вносит исследование палеопочв и антропогенных изменений почв в теорию почвоведения? Каковы современное понимание докучаевской парадигмы почвоведения и объёма понятия "почва". Основные особенности современного этапа развития и международного сотрудничества в почвоведении.
- История почвоведения: творчество отдельных ученых, история научно-исследовательских, учебных и общественных организаций и научных событий, история исследований почвенного покрова регионов и областей России.
- Анализ коммуникаций в почвенном сообществе: современное состояние международного сотрудничества, связи между почвоведцами регионов, учреждений, библиометрический анализ публикаций по почвоведению, анализ применения количественных оценок их качества.

(Z) Комиссия по образованию в почвоведении

Сопредседатели – д.б.н. О.А. Макаров, к.б.н. В.М. Колесникова

- Инновационные образовательные технологии в почвоведении.

Ознакомиться с докладами, представленными на заседаниях комиссий, подкомиссий и рабочих групп, можно на сайте съезда (https://ib.komisc.ru/add/conf/soil2020/?page_id=692).

Непосредственно во время работы съезда (10–14 августа 2022 г., г. Сыктывкар) были заслушаны и обсуждены доклады в рамках пленарной сессии и семи симпозиумов:

1. Почвенные и земельные ресурсы России: оценка, нормирование, управление

Руководители: акад. РАН А.Л. Иванов, д.б.н. О.А. Макаров,
д.геогр.н. В.С. Столбовой, д.б.н. А.С. Яковлев

Почвенные и земельные ресурсы как объекты осуществления научно-практической деятельности в области оценки, нормирования, управления, инвентаризации и др., направленной на решение задачи устойчивого развития ресурсного потенциала Российской Федерации. Социально-экономические аспекты устойчивого развития сельских территорий страны.

2. Взаимодействие биотических и абиотических компонентов почвы

Руководители: д.б.н. С.Н. Чуков, д.б.н. А.Л. Степанов, д.г.-м.н. Т.В. Алексеева

Междисциплинарные вопросы органо-биотических, минерально-биотических и органо-минеральных взаимодействий.

3. Биогеохимические циклы элементов

Руководители: чл.-корр. РАН В.Н. Кудеяров, д.б.н. И.Н. Курганова

Междисциплинарные вопросы биогеохимических циклов углерода, азота, кислорода, фосфора и других элементов в системе «грунтовые воды – породы – почва – растения – атмосфера».

4. Пост-катастрофическое и пост-антропогенное развитие почв в антропоцене

Руководители: д.б.н. А.А. Гольева, д.б.н. А.О. Макеев, д.б.н. А.А. Дымов

Вопросы катастрофических и пост-антропогенных процессов развития почв. Теория катастроф – применима ли она в генетическом почвоведении. Пост-пирогенные изменения почв и скорости их стирания. Пост-селитебные почвы далекого и недалекого прошлого. Пост-агрогенные изменения почв различных природных зон. Геоморфологические катастрофы (оползни, сели, быстрая эрозия и др.) и их последствия для почвенных покровов.

5. Почвообразование – взгляд из прошлого в будущее

Руководители: чл.-корр. РАН А.О. Алексеев, д.б.н. А.В. Борисов,
к.г.-м.н. П.И. Калинин

Кризисные и оптимальные этапы почвообразования как ретроспективная основа для оценки современного состояния почвенного покрова и прогноза его развития в результате глобальных и региональных изменений климата. Палеопочвенные архивы как основа прогнозирования геоэкологических изменений в будущем. Закономерности формирования почвенного покрова в геологической истории Земли (от кор выветривания к развитым почвам). Сценарии возможных изменений экосистем в условиях климатических вызовов и выработка стратегии поведения.

6. Антропогенно-измененные и антропогенные почвы: разнообразие, диагностика, классификация

Руководители: д.б.н. Б.Ф. Апарин, к.б.н. Е.Ю. Сухачева, М.А. Лазарева

Диагностика, классификация и картографирование почв городов, рекультивируемых территорий, антропогенно-измененных почв лесных территорий и пахотных угодий. Структура почвенного покрова антропогенно-измененных ландшафтов.

7. Почвенно-экологические основы адаптивно-ландшафтного земледелия и землепользования

Руководители: академик РАН В.И. Кирюшин, к.г.н. Д.Н. Козлов,
д.б.н. Н.И. Добротворская

Агроэкологическая типология и группировка земель. Оценка структур почвенного покрова, их сложности и контрастности. Идентификация почвенно-ландшафтных связей. Разработка ГИС агроэкологической оценки земель и проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Экологизация агротехнологий. Экологические нормативы земледелия и землепользования.

Материалы пленарных докладов, прозвучавших на съезде, а также дополнительно принятые тезисы, представлены в данном сборнике (Часть 1). Тезисы докладов, принятые для участия в работе симпозиумов, опубликованы в электронном сборнике тезисов VIII съезда (Часть 2), комиссий, подкомиссий и рабочих групп – в электронном сборнике тезисов (Часть 3) (https://ib.komisc.ru/add/conf/soil2020/?page_id=675).

В сборник *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (<https://iopscience.iop.org/journal/1755-1315>) вошли расширенные материалы представленных на съезде докладов – 120 статей участников съезда, в которых обсуждены результаты исследований, полученные в межсъездовский период (2016–2020 гг.) по следующим направлениям:

- Генезис и география почв;
- Химия почв;
- Физика почв;
- Биология почв;
- Минералогия и микроморфология почв;
- Агрохимия и плодородие почв;
- Мелиорация почв;
- Деградация, восстановление и охрана почв;
- История науки.

В рамках VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева проведена Школа молодых ученых по морфологии и классификации почв и первые в России соревнования по «спортивному почвоведению» (с 7 по 9 августа 2022 г.). Для участия в работе Школы зарегистрировались команды студентов и аспирантов ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва), Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург), географического факультета и факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва), РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (г. Москва), Казанского федерального университета (г. Казань), Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола), Уральского государственного лесотехнического университета (г. Екатеринбург), Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону).

Оргкомитет искренне признателен членам Программной (научной) комиссии и Организационного комитета, оказавшим неоценимую помощь при рецензировании и подготовке статей для публикации сборника *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. А также Правительству Республики Коми, руководству ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Вятского государственного университета, Института геологии и Института агробιοтехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Общества с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Коми», Акционерного общества «Монди СЛПК», Общества с ограниченной ответственностью «МИЛЛАБ Система», Коми отделения Сбербанка России, ПАО Банк ВТБ за поддержку съезда и помощь в его подготовке и проведении.

*Организационный комитет
VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева*

РЕЗОЛЮЦИЯ

VIII СЪЕЗДА ОБЩЕСТВА ПОЧВОВЕДОВ им. В. В. ДОКУЧАЕВА

(г. Сыктывкар, 10-14 августа 2022 г.)

Состоявшийся в г. Сыктывкаре VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева прошел под девизом «Почвы – стратегический ресурс России». Среди более чем пятисот участников, присутствовавших в очном и дистанционном формате, были ведущие специалисты научных и образовательных учреждений России, работники аграрного сектора, природоохранных организаций и представители органов государственной власти и бизнеса. Доклады и научные дискуссии участников съезда показали возросший уровень почвенных исследований в стране и высокий инновационный потенциал представленных на съезде результатов.

Съезд всемерно поддерживает инициативы Президента и Правительства Российской Федерации, направленные на укрепление продовольственной безопасности, развитие Арктических регионов, создание системы мониторинга климатически активных газов. Среди вышедших постановлений отметим новую Доктрину продовольственной безопасности РФ, где существенно повышен статус почв как основы сельскохозяйственного производства, важнейший инновационный проект государственного значения по созданию «Единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ», программу развития сети карбоновых полигонов в России. Съезд приветствует инициативу по возобновлению почвенной съёмки на землях сельскохозяйственного назначения.

В то же время, съезд отмечает, что существует ряд пробелов в законодательстве и в практической реализации мер по охране и рациональному использованию почвенных ресурсов. В течение многих лет почвенное сообщество настаивает на принятии федерального закона «О почве», который выделял бы почву как отдельное тело природы и исчерпаемый природный ресурс, что не отражается в текущем законодательстве. Существующая законодательная база не обеспечивает контроль качества почв, находящихся в долгосрочной аренде, что провоцирует хищническое использование почв. Не учитывается мнение почвоведов при отводе земель, в том числе залежных, под разные типы землепользования. В частности, зачастую плодородные почвы выводятся из сельско-

хозяйственного оборота и передаются под застройку. До сих пор не встретила поддержки многолетняя инициатива Общества почвоведов им. В.В. Докучаева по созданию единой Федеральной почвенно-земельной службы России.

В связи с вышеизложенным съезд считает необходимым усилить работу по взаимодействию с органами законодательной и исполнительной власти для доведения до сведения руководящих органов коллективной позиции Общества почвоведов. Предлагать проведение экспертизы законодательных актов и технических документов, имеющих отношение к использованию и охране почв, на федеральном и региональном уровне. В частности, просить обеспечить независимую экспертную поддержку подготовки новых ГОСТов по тематике, связанной с почвенными исследованиями. Региональным научным исследовательским учреждениям и университетам предложить научно-методическую поддержку местным отделениям агрохимической службы Минсельхоза.

В текущих условиях Общество почвоведов им. В.В. Докучаева встаёт перед новыми вызовами, среди которых наиболее важными представляются следующие:

1. Научно-техническое обеспечение продовольственной безопасности страны.
2. Сохранение здоровья почв как основы комфортной среды обитания человека.
3. Адаптация сельского хозяйства и всего уклада жизни к климатическим изменениям, минимизация их последствий.
4. Сохранение разнообразия почв и связанного с ним видового разнообразия живых организмов.
5. Переход к цифровой экономике, в том числе цифровому сельскому хозяйству.

Для ответа на указанные вызовы Общество должно в кратчайшие сроки предпринять конкретные меры по следующим направлениям:

1. Обеспечить кадровый потенциал, способный решать насущные проблемы почвоведения и смежных дисциплин. Обновить учебные программы, привести их в соответствие с современными запросами общества. Усилить работу со школьниками, обеспечить их профориентацию.
2. Повысить уровень фундаментальных исследований как основы последующих прикладных разработок.
3. Усилить работу по гармонизации существующих методов полевых и лабораторных исследований на национальном и международном уровне.

4. Усиливать сотрудничество с агробизнесом и фермерскими хозяйствами с целью внедрения передовых технологий, направленных на долговременное поддержание почвенного плодородия.

5. Укреплять межрегиональное и межведомственное сотрудничество для создания карбоновых полигонов и иных участков мониторинга цикла углерода и роли почв в нём.

6. Принимать активное участие в работе по совершенствованию и развитию сети особо охраняемых природных территорий для обеспечения репрезентативности всех характерных типов почв для каждого региона.

7. Активизировать работы по разработке и применению методических рекомендаций по составлению и ведению Красной Книги почв Российской Федерации и её субъектов.

8. Усилить популяризацию научных знаний о почвах путём публикации материалов в СМИ, издания материалов популярного и рекламного характера.

Среди конкретных мероприятий, которые Общество рекомендует поддержать в ближайшее время, отметим следующие:

- в рамках проекта Международного союза чистой и прикладной химии (IUPAC) «Conceptualization of definition and classification of humic substances» (Разработка концепций определения и классификации гуминовых веществ» (<https://iupac.org/project/2021-032-3-600>) принять активное участие в разработке определения гумусовых веществ как сложной супрамолекулярной системы;

- просить Главу Республики Коми поддержать создание в регионе карбонового полигона, поскольку девственные таежные экосистемы Республики Коми имеют исключительную значимость для поддержания экологического баланса в глобальных масштабах; кроме того, в республике имеется многолетний опыт мониторинга потоков парниковых газов и работают высококвалифицированные специалисты, имеющие современное оборудование;

- обратить внимание федеральных и региональных органов власти на необходимость восстановления лесных полос на юге России, почвозащитная роль которых очень велика, и их утрата будет иметь катастрофические последствия;

- обратиться в Государственную Думу с запросом о необходимости принятия Федерального закона «Об охране почв»;

- выступить в качестве соорганизатора национального Российского почвенного партнёрства в рамках Глобального почвенного партнёрства Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО);

- способствовать организации работ по подготовке и изданию толковых словарей и энциклопедии по почвоведению, рекомендовать создать рабочую группу по публикации указанных произведений;
- рекомендовать НИИ и кафедрам почвоведения создать региональные коллекции почвенных монолитов и образцов;
- активизировать работу в направлении развития цифровой почвенно-географической базы данных, а также специализированных баз данных, для их использования различными организациями;
- организовать курсы повышения квалификации в области использования современных математических методов, цифрового земледелия и использования искусственного интеллекта на базе МГУ имени М.В.Ломоносова, Почвенного института им. В.В. Докучаева и других организаций;
- обратиться в Министерство сельского хозяйства с предложением о восстановлении кафедр почвоведения в аграрных ВУЗах;
- создать при Обществе почвоведов им. В.В. Докучаева рабочую группу по разработке школьной программы по почвоведению с дальнейшей подачей предложений в Министерство просвещения для включения в программу школьного обучения;
- провести заседания комиссий, подкомиссий и рабочих групп Общества почвоведов им. В.В. Докучаева в срок до 1 ноября 2022 года, представить предложения по возможному изменению руководящего состава комиссий для утверждения на Центральном совете.

Съезд отмечает самоотверженную работу местного организационного комитета, который в сложных условиях пандемии COVID-19 обеспечил проведение съезда на высоком уровне. Работа впервые проходила в гибридном очно-заочном формате в течении двух лет 2020-2022 гг. В результате программа съезда была полностью выполнена с максимальным охватом представленных докладов. Съезд выражает глубокую благодарность региональному отделению Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, руководству Республики Коми, со-организаторам съезда (Сыктывкарскому государственному университету им. Питирима Сорокина, Вятскому государственному университету), а также спонсорам мероприятия (ООО «ЛУКОЙЛ -Коми, АО «Монди СЛПК», ООО «Миллаб система», Сбербанк, ВТБ-банк).

Съезд отмечает высокий интерес, который вызвало проведение в рамках съезда Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв и первых в России соревнований по спортивному почвоведению. Предлагается продолжить этот успешный опыт на предстоящих мероприятиях Общества. Съезд благодарит инициаторов и организаторов Школы молодых ученых и соревно-

ваний, а также Русское географическое Общество, поддержавшее материально данное мероприятие.

Предлагается провести IX съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева в 2024 г. в г. Казани, Республика Татарстан. Представить на заседании Центрального совета в ноябре 2022 г. проект Программы съезда и предварительный состав программной комиссии организационного комитета.

*Президент Общества почвоведов им. В. В. Докучаева,
член-корр. РАН П. В. Красильников*

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Председатель – чл.- корр. РАН С.А. Шоба

УДК 631.48

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ – КРАТКИЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Шоба С.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

Очередной съезд Общества почвоведов обычно подводит итоги своей деятельности за прошедший период и намечает пути реализации дальнейших перспективных как фундаментальных, так и прикладных направлений в области почвоведения. Традиционно задачи Общества состоят в координации научных исследований и выработке конкретных мероприятий по эффективному управлению почвенными ресурсами, по популяризации нашей науки и подготовке высококвалифицированных кадров. Эти задачи гармонизируют с общими трендами развития Мирового почвоведения, и они были четко обозначены глобальным почвенным партнерством по инициативе ФАО. Правительственные органы ставят перед почвоведомы задачу по вовлечению в сельскохозяйственный оборот заброшенных ранее земель и повышению их продуктивности (Постановление Правительства РФ от 14.05.2021), по широкому применению информационных технологий в рамках реализации программы цифрового сельского хозяйства. Работа Общества традиционно осуществляется в комиссиях и подкомиссиях в рамках рабочих семинаров и конференций, где формулируются конкретные предложения по рациональному использованию почвенных ресурсов. Активность наших коллег проявляется также в академическом сообществе, в государственных и законодательных структурах.

За прошедший период отмечены существенные достижения в области генезиса, географии и классификации почв. Значительно продвинулись работы по новой версии классификации почв (Герасимова, 2019), куда планируется внести

существенные изменения при сохранении общего каркаса. Дано определение и предложена система описания диагностических горизонтов почв и их признаки. Предложены алгоритмы классификации пахотных почв, которые отсутствовали в прежней классификации. Наметился значительный прогресс в цифровой картографии почв за счет применения технических и компьютерных средств, материалов дистанционного зондирования, особенно с использованием беспилотных летательных аппаратов (Савин, 2019).

Последние годы активно работает подкомиссия по палеопочвоведению. Проведены уникальные исследования ископаемых почв девона и карбона, которые расширяют границы традиционного почвоведения. Особенно следует отметить опыт по популяризации науки, проведение регулярных международных молодежных школ по палеопочвоведению, создание публичного онлайн курса по палеопочвоведению и геоархеологии из 15 лекций на канале You Tube (Макеев).

Среди региональных обобщающих работ следует выделить «Национальный атлас Арктики», где значительное место занимает характеристика почвенного покрова.

Получены важные результаты по применению информационных технологий в почвоведении и сельском хозяйстве. Этому направлению уделяется особое внимание на правительственном уровне. Распоряжением Правительства от 29.12.2021 № 3971 утверждены стратегические направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г. Почти одновременно Федеральным законом от 30.12.2021 внесены изменения в Федеральный закон от 1998 г. «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», направленные на развитие государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и создание информационного ресурса. Подобные ресурсы формируются в региональных центрах агрохимической службы, учебно-научных организациях и министерствах. Одним из таких наиболее разработанных ресурсов в области почвоведения является Центр коллективного пользования, созданный в Московском университете: «Информационная система – Почвенно-географическая база данных России – ИСПГБД» – <https://soils-db.ru/ckp/>, зарегистрированный в реестре «Научно-технологическая инфраструктура Российской Федерации» – <https://ckp-kf.ru/ckp/1777894>. Этот Центр ставит и решает ряд важных задач: инвентаризация и мониторинг состояния почвенного покрова; создание основы земельного кадастра; создание прикладных программ расчета заданных показателей в режиме реального времени на основе автоматизированного извлечения знаний из накопленных и организованных данных; основа для принятия управленческих решений на федеральном

и региональном уровнях; развитие единого международного почвенно-информационного пространства. Основу почвенно-географической базы данных составляют два основных блока: географический, или картографический, блок и профильно-атрибутивный блок. Картографическая часть представлена разномасштабными почвенными картами и другими сопутствующими материалами. В базу данных входит также программный продукт, который позволяет получать новые данные и проводить расчеты на основе существующих материалов.

Новые данные получены почвенными микробиологами. Они начали исследования вирусов и фагов в почвах. Было обнаружено, что их количество превышает численность микробного населения почв. Установлено, что вирусы с литическим жизненным циклом представляют собой одну из главных причин гибели клеток бактерий в почвах. Они уничтожают от 10 до 50% ежедневной продукции бактериальной биомассы, что определяет интенсивность биогеохимических круговоротов углерода, азота и фосфора (Лысак, Чекин). Исследованиями на основе модели марсианского грунта показано, что жизнеспособные микроорганизмы земного типа могут сохраняться в анабиотическом состоянии от 1.3 до 20 млн лет в реголите современного Марса в подповерхностном слое.

Получены новые данные с применением инновационных синхронных методов на базе установок MEGA-Science (НИЦ «Курчатовский институт» для изучения механизмов превращения металлов в почвах и растениях (Пинский, Минкина)). Были выявлены молекулярно-структурные изменения тяжелых металлов в техногенно-преобразованных почвах, идентифицированы соединения тяжелых металлов и выявлен вид их связи с фазами – носителями почв. Также созданы нанокompозитные материалы за счет введения в матрицу углеродистого сорбента металл-органических каркасных структур, имеющих рекордные показатели удельной поверхности до $10000 \text{ м}^2/\text{г}$. Эти соединения представляют собой новую ступень развития пористых материалов, в которых можно контролируемо изменять в широких пределах размер пор и структуру активного центра. Их добавление к углеродистым сорбентам (биочарам) позволит повысить эффективность связывания поллютантов в почвах.

В практике почвенных исследований в области физики почв получили широкое применение цифровые датчики для динамического измерения температуры, влажности, лазерные дифрактометры для определения гранулометрического состава, рентгеновские томографы. С помощью последнего получены новые знания о структуре порового пространства ряда почв, которые являются важной характеристикой структуры и физических свойств почв.

Важное место в Обществе занимают исследования эмиссии и стока парниковых газов. В России впервые выполнены многолетние непрерывные наблюдения за эмиссией CO_2 из почв в связи с климатическими изменениями. Показана отчетливая связь величины годовых и сезонных потоков CO_2 из дерново-подзолистых почв с современными изменениями климата в регионе. Обнаружена общая тенденция снижения величин суммарных потоков CO_2 из дерново-подзолистой почвы лесного и лугового ценозов во все календарные сезоны года и за годовой период в целом.

Значительный вклад (73–77%) в годовое дыхание почв вносит период активной вегетации растений (с мая по октябрь). Вместе с тем доля холодного периода (ноябрь–апрель) в годовом потоке CO_2 из почв в отдельные годы достигает 38–39%, свидетельствуя о том, что недоучет эмиссии CO_2 за пределами вегетации может существенно искажать реальные величины баланса углерода в экосистемах умеренно-континентального климата (Кудеяров и соавторы).

Современная ситуация в стране и Мире требует от нашего сообщества обратить внимание на наиболее важные и востребованные направления (научные и прикладные), которые должны повышать эффективность использования почвенных ресурсов и соответствовать мировому уровню. Крайне важно развитие и применение информационных технологий в почвоведении на всех уровнях административного управления и в учебно-научных учреждениях: составление баз данных, разработка программных средств, позволяющих решать прикладные задачи, внедрять курсы по информационным технологиям в ВУЗах.

Современная мировая тенденция – изучение влияния изменений климата на состояние и функционирование биосферы, а в нашем случае – прогноз состояния почвенного покрова и продуктивности агроэкосистем. Особое место в этом блоке занимает влияние климатических изменений на сток и эмиссию парниковых газов. Почвоведы совместно с биологами включаются в реализацию карбонового проекта, автоматизированного слежения за парниковыми газами в разных природных зонах РФ.

Крайне актуальна разработка инновационных технологий и материалов, обеспечивающих снижение риска деградации почв и увеличение продукционного потенциала агроэкосистем. Проблема нарушения и загрязнения почв стоит остро для многих регионов страны (Западная Сибирь, Кузбасс), что диктует необходимость разработки адекватных технологий по реабилитации почв этих территорий.

Перед агрохимиками стоит задача для повышения эффективности основных средств химизации в производстве сельскохозяйственной продукции разрабатывать и более активно применять, исходя из конкретных условий, микро- и биологические удобрения, стимуляторы роста, средства для борьбы с болез-

нями растений и др. Юбилейные мероприятия в прошлом году, посвященные 80-летию Географической сети опытов с удобрениями, показали важность этих полигонов для современных агрохимических исследований. Ведь результаты работы сети служат информационным ресурсом для разработки основополагающих документов по использованию минеральных и органических удобрений. В перспективе это позволит осуществлять направленное управление показателями плодородия почв, вести автоматизированный мониторинг, оценку и прогнозирование состояния окружающей среды.

В области биологии почв актуальна проблема разработки технологий по управлению микробными сообществами, которые способствуют повышению урожайности с/х культур, секвестрации углерода, уменьшению эмиссии парниковых газов. Необходима разработка направления «здоровье почв», внедрение штаммов микроорганизмов, способствующих самоочищению почв.

К настоящему времени остается актуальной, но не решенной задачей повышение юридического статуса почв как объекта окружающей природной среды, требующего охраны и соответствующих нормативных актов, наравне с недрами, атмосферой и воздухом, животным и растительным миром.

Учитывая нынешнюю политическую ситуацию, тотальные санкции для нашей страны со стороны Запада, стоит задача всемерно развивать более тесное сотрудничество со странами Евразийского региона и другими нейтральными странами. У нас есть потенциал и возможности для взаимодействия, особенно в решении ряда почвенно-экологических задач и продовольственной безопасности наших стран.

УДК 631.48

УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫМИ РЕСУРСАМИ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ

**Красильников П.В.¹, Савин И.Ю.², Васенёв И.И.³,
Семенов И.Н.¹, Шоба С.А.¹**

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

² ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

³ РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

Продовольственная безопасность традиционно включает в себя наличие, доступность и качество продуктов питания населения. Хотя в современном понимании понятие продовольственной безопасности далеко выходит за рамки обеспечения сельскохозяйственного производства: без наличия устойчивого аграрного сектора продовольственные системы оказываются лишенными фунда-

мента. Именно с сельскохозяйственным блоком связано основное значение почв для обеспечения продовольственной безопасности. Плодородие почв – основа высокой производительности сельского хозяйства, которое не только определяет урожайность растениеводческой продукции, но и обеспечивает кормовую базу животноводческой отрасли. Устойчивая интенсификация производства продуктов питания невозможна без повышения плодородия почв; при этом почва не может рассматриваться в качестве инертного субстрата, свойства которого могут легко модифицироваться. Напротив, сами почвы являются важнейшими регуляторами характера сельскохозяйственного использования территорий, а значит, и «ассортимента» сельскохозяйственной продукции на локальном, региональном и национальном уровнях.

Почвы и их свойства, наряду с метеорологическими условиями, определяют возможности возделывания и потенциальную урожайность сельскохозяйственных культур. Для каждой культуры и даже отдельного сорта можно установить набор свойств почв, влияющих на ее развитие, а также количественные значения этих свойств, которые оптимальны для конкретной культуры или ограничивают развитие растений вплоть до полной невозможности их роста. Таким образом, можно построить экспертные модели для оценки пригодности и/или оптимальности почв для возделывания той или иной сельскохозяйственной культуры. Использование подобных моделей позволяет выявить регионы а) с оптимальными почвами для возделывания конкретных культур, б) где почвенные условия могут ограничивать рост и, соответственно, урожайность сельскохозяйственных растений, или же в) регионы, где возделывание культуры по почвенным условиям невозможно.

Перечень почвенных свойств, которые определяют возможности возделывания сельскохозяйственных культур, известен, но для разных культур он отличается. Причем негативное влияние части этих свойств может быть нивелировано обычными агротехническими приемами, влияние другой части может быть устранено путем проведения мелиоративных мероприятий, а влияние некоторых негативных свойств устранить невозможно или экономически нецелесообразно.

На основе данных подходов Почвенным институтом им. В.В. Докучаева оценены почвенные ресурсы России для возделывания наиболее распространенных сельскохозяйственных культур. Выявлены регионы, где ресурсный потенциал почв переэксплуатируется и где существуют потенциальные резервы для расширения площадей под посевы той или иной культуры. Подобный анализ должен служить основой для планирования и административного стимулирования изменения структуры посевных площадей в стране при адаптации

сельского хозяйства к изменениям климата и/или рыночной конъюнктуры и переходу к повсеместному устойчивому землепользованию.

Свойства почв определяют возможность выращивания и урожайность культур, от чего зависит наличие и, в какой-то мере, физическая доступность и качество продуктов питания. Качество продовольствия часто снижается в результате истощения питательных элементов в почве, а также недостатка микроэлементов, которые ведут к развитию такого явления, как скрытый голод, который определяется как недостаток в питании витаминов и минералов при достаточной калорийности пищи. Одно из возможных последствий скрытого голода – развитие микроэлементозов у человека и домашних животных. Кроме того, микроэлементозы возникают в случае нарушения привычного соотношения химических элементов, например, Ca:Sr или Cu:Mo в почве и выращиваемой на ней растительной продукции. На гранитных массивах из-за избытка F у человека возникает флюороз (поражение зубов и костей), в аридных ландшафтах зачастую фиксируют аномалии с повышенным содержанием бора, что определяет возможность развития борного энтерита у овец. Другой нетривиальной проблемой, возникшей при успешном решении продовольственной безопасности за счет собственных ресурсов страны, является современная ситуация на российском рынке зерна. Импортируемая пшеница из Австралии, США и Канады содержала существенно больше Se, чем отечественная, поэтому по мере снижения импорта зерна перед Россией все серьезнее стоит проблема селенодефицита.

Поступление в почвы ксенобиотиков и таких приоритетных загрязнителей окружающей среды, как тяжелые металлы и металлоиды, также считается фактором, негативно влияющим на продовольственную безопасность страны. Например, поступление радиоактивного йода-131 в экосистемы западных регионов России после аварии на Чернобыльской АЭС резко увеличило число случаев заболеваний щитовидной железой. Тяжелые металлы и металлоиды поступают в организм человека, в основном, с питьевой водой, пищей и аэральным путём, поэтому наличие потенциально токсичных компонентов в сельскохозяйственной продукции считается фактором риска для пищевой безопасности.

В последние годы получила распространение концепция «здоровья почвы», которая, помимо параметров стационарного и динамического плодородия, учитывает и такой параметр, как санитарное состояние почв, напрямую связанное с урожайностью культур и пищевой безопасностью. С одной стороны, почва может содержать пул вредителей и болезней растений, за счёт чего в полной мере не реализуется потенциал урожайности сельскохозяйственных растений. С другой – почва также представляет собой источник потенциально болезнетворных для человека микроорганизмов, т.е. может ставить под угрозу продовольственную безопасность. Надо отметить, что угроза здоровью растений, живот-

ных и человека в основном связана с антропогенным нарушением гомеостаза почвы, нарушением ее санитарной безопасности.

Обеспечение устойчивого поддержания почвенного плодородия с учетом восстановления экосистемных функций почвенной системы и поддержания здоровья почв является важнейшей проблемой современных фундаментальных и прикладных исследований. При этом на первый план выходит важнейшая междисциплинарная задача: интегральное обеспечение продовольственной, экологической и экономической безопасности России. Данная задача требует систематических усилий, поскольку требования экономики, охраны окружающей среды и обеспечения населения продовольствием зачастую оказываются противоречащими друг другу в краткосрочной перспективе, хотя стратегически все они направлены на повышение качества жизни населения страны.

Информационно-методическую основу устойчивого управления почвенными ресурсами в целях обеспечения продовольственной и экологической безопасности России составляют рамочные агроэкологические модели производственного процесса, качества земель и системы поддержки принятия решений по агроэкологической оптимизации проектируемых систем земледелия и оперативно корректируемых агротехнологий.

Происходящие в настоящее время и прогнозируемые трансформации продовольственных систем формулируют новые вызовы для почвоведения. Происходит существенная диверсификация сельскохозяйственных культур, что требует от почвоведов и агрохимиков усилий по адаптации систем обработки почвы и питания растений к конкретным агроклиматическим и почвенным условиям для новых культур. Расширение состава культур и сортов связано и с неизбежным введением в оборот сортов с отредактированным геномом, предпочтения которых по отношению к почвенным условиям заранее неизвестны. Очевидно, что продовольственные системы будут изменяться и по структуре, и географически. Тип землепользования, скорее всего, будет меняться от пастбищ и кормовых угодий к производству растениеводческой продукции за счет снижения потребления мясных продуктов. В то же время в оборот будут все больше внедрять культуры, способные заместить мясные продукты по содержанию незаменимых аминокислот, витаминов и микроэлементов. Возможно распространение земледелия в некоторые северные регионы России за счет изменения климата; в этом случае особенно велика роль почвоведов в выявлении наиболее плодородных, пригодных для зерновых культур почв, а также в мелиорации почв с низким природным плодородием. В южных областях изменения климата, как ожидается, приведут к засухам и опустыниванию. Почвоведов придется решать вопросы, связанные с деградацией почв, с обеспечением орошения посевов. Интродукция и создание новых сортов засухоустойчивых культур потребуют также

оценки пригодности для них изменившихся агроклиматических условий и почв, разработки мелиоративных мероприятий и систем земледелия. Ускоряющиеся глобальные изменения климата, технологий и социально-экономических условий ведения сельского хозяйства актуализируют конструктивные почвенно-агроэкологические исследования, доводимые до уровня эффективных для конкретного земельного участка, сорта и сезона технологических решений. Активное развитие современных форм частно-государственного партнерства создает благоприятный фон для внедрения в широкую практику сельского хозяйства интерактивных агроэкологических моделей, творчески развивающих базовую методологию почвенно-агроэкологического проектирования. Органическое земледелие захватывает все большую долю в современном сельскохозяйственном производстве. Хотя полный переход на органическое сельское хозяйство представляется утопией, подходы, развивающиеся в биологизированном земледелии, позволят существенно снизить загрязнение почв и тем самым обеспечить пищевую безопасность в продовольственных системах.

УДК 631.48

АНТРОПОГЕННЫЕ И ПОСТАНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ СЕВЕРА РОССИИ

**Дымов А.А.¹, Десяткин Р.В.², Десяткин А.Р.², Лаптева Е.М.¹, Каверин Д.А.¹,
Панюков А.Н.¹, Денева С.В.¹, Прокушкин А.С.³, Матышак Г.В.⁴,
Гончарова О.Ю.⁴, Конюшков Д.Е.⁵, Хохлов С.Ф.⁵, Карелин Д.В.⁶,
Лупачев А.В.⁷, Милановский Е.Ю.⁷, Долгих А.В.⁶, Добрянский А.С.⁶,
Зазовская Э.П.⁶, Габов Д.Н.¹, Шишков В.А.⁶, Горячкин С.В.⁶**

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар,
e-mail: aadymov@gmail.com, dymov@ib.komisc.ru

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск

³ Институт леса СО РАН, Красноярск

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

⁵ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

⁶ Институт географии РАН, Москва

⁷ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

Основу почвенного покрова Российской Федерации составляют почвы тундровых и лесных ландшафтов. Известно, что почвы северных экосистем чрезвычайно неустойчивы к антропогенному воздействию. В то же время в условиях современных климатических изменений и смещения добывающей промышленности в Арктическую зону в настоящее время почвы этих ландшафтов испытывают существенную антропогенную нагрузку. Следует отметить,

что в различных северных регионах России типы воздействий на почвенный покров в целом близки. Они связаны с нарушением почв и почвенного покрова под влиянием лесозаготовок, разработки месторождений и добычи полезных ископаемых (уголь, нефть, газ, различные руды и пр.), переводом земель в категорию сельскохозяйственных угодий, развития инфраструктуры (прокладка дорог, газо- и нефтепроводов), урбоэкосистем. Значимую роль в процессах преобразования ландшафтов, в том числе почв, играют пожары, причинами которых могут быть как природные, так и антропогенные факторы. Отдельная задача современного экологического почвоведения на Севере – изучение почв залежных и действующих агроэкосистем в динамике в связи с глобальными изменениями климата и возможным использованием ресурсов «скрытой продовольственной корзины» Арктического пояса РФ. В настоящее время как в отечественных, так и зарубежных исследованиях изучение почв антропогенно-измененных ландшафтов приобретает особую актуальность. Однако эти исследования разрознены, преимущественно ограничены региональными рамками. В связи с этим цель данной работы заключалась в оценке современных типов воздействий и их последствий на почвы северных регионов Российской Федерации и специфики преобразования почв на постантропогенных стадиях функционирования экосистем.

Почвы бореальных лесных экосистем в наибольшей степени подвержены изменениям в результате рубок, пожаров и современного зарастания сельскохозяйственных земель. К настоящему времени показано, что в ходе послерубочных сукцессий на пасечных участках вырубок имеют место изменения морфологических и физико-химических свойств почв, характеристик почвенного органического вещества. Сукцессионные изменения почв обусловлены сменой гидрологических и микроклиматических условий, состава опада. На механически нарушенных участках выделены турбоземы, характеризующиеся высокой долей участия крупных порубочных остатков в верхних горизонтах. Морфологические признаки нарушений в почвах вырубок сохраняются до полувека.

Пожары, в зависимости от интенсивности, приводят к различной трансформации почв. В результате пожаров на поверхность почв поступают частичные продукты горения подстилочных горизонтов и древесины, которые в дальнейшем интегрируются в состав почвенного органического вещества. В большинстве случаев пожары способствуют перераспределению запасов органического вещества, сосредоточенного в почвах, между подстилками и верхними минеральными горизонтами. В почвах постпирогенных ландшафтов происходит 2–8-кратное возрастание содержания полициклических ароматических углеводородов. В составе легких фракций органического вещества увеличивается доля ароматических молекулярных фрагментов. В первые годы после пожаров

содержание углерода водорастворимых органических соединений в пирогенных горизонтах уменьшается от 3 до 27 раз по сравнению с органогенными горизонтами почв условно-фоновых лесов. Характерно длительное сохранение углерода пирогенного происхождения в верхних минеральных горизонтах и нижних подгоризонтах подстилок. В почвах экосистем, пройденных пожарами 100–150 лет назад, их содержание снижается до условно-фоновых значений, но при этом морфологические пирогенные признаки сохраняются. Важную информационную роль в количественной оценке пирогенного углерода в составе почвенного органического вещества выполняют бензолполикарбоновые кислоты (ВРСА), концентрация которых значительно увеличивается в постпирогенных горизонтах подзолов, подзолистых и торфяных почв Европейского Севера и Средней Сибири.

В результате антропогенного влияния (пожары, рубки, распашка) на фоне современного потепления климата отмечены уменьшение и полное исчезновение защитного слоя многолетнемерзлых грунтов Центральной Якутии, что в свою очередь обусловило преобразование почвенного покрова на площадях в сотни тысяч гектаров. Образование криогенного полигонального микрорельефа при термокарстовой деградации привело к резкой дифференциации однородного почвенного покрова. В ближайшие десятилетия (века) может произойти полная деградация почвенного покрова этих территорий с потерей плодородия почв. В Якутии на территориях, где почвенный покров представлен песчаными почвами, увеличилась частота пожаров, которые полностью уничтожили растущие здесь сосновые леса. Негативным последствием таких пожаров является расширение площади развеваемых песков – тукуланов. Аналогичные явления известны для тундры и лесотундры Европейского Севера и в ЯНАО, но они связаны не только с пожарами, но и с перевыпасом домашних оленей и механическими нарушениями песчаных почв.

Изучение влияния прокладки трубопроводов на почвенный покров, проведенное на территории тундровой зоны Западной Сибири, установило значительную трансформацию экосистем и почв не только за счет механического воздействия, но и за счет кумулятивного отепляющего эффекта от их функционирования. Глубина протаивания торфяников вблизи газопровода увеличилась в среднем в два – три раза, и этот эффект прослеживается на значительно большее расстояние, чем полоса механического нарушения – до 30–50 м от трубы. По мере приближения к газопроводу увеличивается температура почв, и это обуславливает увеличение количества и размера кустарников и кустарничков, доли лишайников и снижение доли мхов. Несмотря на более высокую температуру, установлено незначительное увеличение эмиссии парниковых газов

почвами нарушенных участков. В процессе функционирования и дальнейшего развития нарушенных почв последние могут стать зонами стока углерода.

Значительному опусканию кровли многолетнемерзлых пород (до 8 м) на бугристых болотах способствуют строительство и эксплуатация насыпных дорог с твердым цементно-бетонным покрытием. Об этом свидетельствуют исследования, проведенные с использованием высокочастотного георадиолокационного зондирования на юге криолитозоны ЕТР. Результаты показали, что отепляющее влияние дороги проявляется в полосе шириной до 50 м, охватывая непосредственно дорожную насыпь, придорожные понижения и примыкающие к ним участки бугристых болот.

Совместное действие факторов землепользования в южных и арктических тундрах (районы угледобычи в окрестностях Баренцбурга на Шпицбергене и г. Воркуты) чаще приводит к увеличению как средних уровней эмиссии CO_2 из почвы, так и ее дисперсии пропорционально первоначальной (естественной) интенсивности почвенного дыхания. Наиболее распространенным сочетанным влиянием на почвы в Арктике является усиление механического воздействия на компоненты экосистем (растительный и почвенный покровы) и увеличение протаивания многолетней мерзлоты. Обычно это приводит к снижению эмиссии CO_2 из почвы. При этом снижение выбросов углекислого газа из верхнего слоя почвы в результате уничтожения растительного покрова не компенсируется увеличением выбросов этого газа от таяния многолетней мерзлоты в более глубоких слоях почвы. Показана ведущая роль фактора влажности почвы для арктических экосистем, который в современных климатических условиях ограничивает продукцию CO_2 , в то время как связи с температурными характеристиками оказались незначимы. Влияние землепользования на нетто-поток метана опосредовано влиянием влажности почвы через дренаж при возведении построек и дорог, или, напротив, через подтопление в результате возведения препятствий для стока воды. Антропогенные воздействия, в целом, снижают потоки метана. В отличие от метана, землепользование в основном стимулировало дополнительный выброс N_2O из почвы в тундрах. В почвах антропогенно-нарушенных биотопов биомасса микроорганизмов минимальна.

Детальные исследования почв агроландшафтов, представленных в тундровой зоне ЯНАО и Республики Коми, показали, что основу их почвенного покрова составляют преимущественно агроземы и агроглееземы. Мощность агрогенно-трансформированной толщи не превышает 40 см, ограничиваясь в среднем 0–20 см верхним слоем. В ЯНАО агроландшафты и соответствующие им агроземы приурочены исключительно к участкам распространения песчаных и супесчаных почвообразующих пород. В отличие от суглинистых почв – криоземов, песчаные почвы в ЯНАО активно включались в сельскохозяйственную

практику. В Большеземельской тундре, в окрестностях Воркуты в агропроизводстве в первую очередь вовлекались почвы на суглинистых отложениях. В настоящее время на данных ландшафтах наблюдается процесс самовосстановительной сукцессии естественной тундровой растительности, сопровождающийся повышением высоты снежного покрова и температуры почв постагрогенных экосистем, опусканием кровли многолетнемерзлых пород, восстановлением физико-химических параметров почв, характерных для целинных тундровых почв, при сохранении высокой численности микроорганизмов прокариотного блока и их функциональной активности.

Влияние урбанизации на почвенный покров Севера исследовано на примере ряда населенных пунктов Арктики и Субарктики: Салехард, Воркута, Лабитнанги, Новый Уренгой, Надым и Старый Надым, Пангоды, Черский, Якутск. При изучении морфологической организации почв селитебных территорий ЯНАО установлено, что для жилых зон характерны урбаноземы, развивающиеся в толще криоземов или подзолистых почв, глубина трансформации исходной почвы достигает 30 см. Почвы рекреационных зон имеют мощный (до 20 см) насыпной органогенный или органо-минеральный горизонт, наличие которого является критически важным для успешного озеленения и существования парковой растительности. В промышленных зонах переработка природного почвенного профиля проявляется наиболее интенсивно и выражена на глубину до 50–70 см. Почвенный покров населенных пунктов очень сильно трансформирован, что выражается как в его пространственной фрагментации, так и в морфологических изменениях профилей. Кроме того, происходит трансформация химического состава почв. Проведенные исследования свидетельствуют о накоплении тяжелых металлов в верхних и средних частях профилей почв. Превышение ПДК в большинстве случаев бывает 2–5-кратным, что свидетельствует о невысокой геохимической нагрузке на почвы. В 70% профилей почв происходит криогенное перераспределение тяжелых металлов, что связано с криогенным массообменом. Формирование почв на территории г. Воркуты (Республика Коми) осуществляется преимущественно в результате образования поверхностных органогенных горизонтов на различных субстратах за счет трансформации органического вещества, поступающего в результате рекультивации. На территории, свободной от асфальтобетонного покрытия, формируются урбаноземы, рекреаземы и реплантоземы. На химические свойства почв существенное влияние оказывает широкое применение в качестве грунтов углистоаргиллитовых материалов, шлаков, а также значительное аэро-техногенное загрязнение угольной и цементной пылью, продуктами горения терриконов. Для городских почв и почвоподобных тел г. Воркута отмечено многократное увеличение концентраций тяжелых металлов, подщелачивание

верхних горизонтов по сравнению с фоновыми почвами, повсеместное превышение ПДК по бенз[а]пирену. Основные особенности формирования почв в пределах г. Воркута заключаются в их относительной молодости и специфичности (в некоторых случаях токсичности по некоторым загрязняющим веществам) техногенных грунтов, на которых происходит современное почвообразование.

Исследования последних лет, проведенные на островах архипелага Земля Франца Иосифа, показали, что мероприятия, направленные на ликвидацию антропогенного и техногенного загрязнения Арктических территорий РФ, обусловили сокращение площади антропогенно-нарушенных территорий. В частности, данные дистанционного зондирования свидетельствуют о сокращении на острове Хейса территорий, являющихся источником современного антропогенного воздействия, с более чем 630 га (2012 г.) до 35 га (2017 г.). Это является результатом работ по очистке островов Земли Франца Иосифа, проведенных в 2011–2017 гг. Площадь выявленных на многих островах этого архипелага зон остаточного загрязнения, по всей видимости, будет последовательно сокращаться, в том числе и за счет способности почв к самоочищению.

Таким образом, в представленном докладе рассмотрены наиболее распространенные тенденции изменения почв в северных регионах России. Показано, что антропогенный фактор становится ведущим в современных условиях развития и функционирования почв Севера.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 19-29-05111мк, 19-416-890002, 18-05-60279, 19-29-05151, 18-04-00952. Авторы выражают благодарность д.б.н. Е.В. Абакумову (СПбГУ) за обсуждение материалов и предоставление информации по почвам населенных пунктов ЯНАО.

УДК 631.48

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННЫХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СИБИРИ

**Андроханов В.А., Смоленцев Б.А., Соколов Д.А.,
Смоленцева Е.Н., Якименко В.Н.**

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск

Территория Сибири простирается с запада на восток от Урала до горных хребтов Тихоокеанского водораздела на 5 тыс. км и с севера на юг от берегов Северного Ледовитого океана до Казахстана и Монголии на 3500 км. Площадь ее составляет 9 731 300 км², или 56.6% территории России, или 7.3% от суши

Земли. И эта огромная территория является объектом исследования для небольших коллективов почвоведов, рассредоточенных в различных научных и образовательных организациях, в том числе и для коллектива сотрудников Института почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИПА СО РАН). Почвоведы ИПА более 60 лет изучают почвы и почвенные ресурсы обширного сложного и местами труднодоступного региона.

Коллектив ИПА СО РАН, в составе которого как опытные высококвалифицированные специалисты, так и молодые начинающие исследователи, несмотря на объективные трудности, продолжает плодотворно работать и в XXI в. Благодаря усилиям предшествующих поколений почвоведов, агрохимиков, биогеохимиков, сформировались представления о полигенетичности почв Сибири, специфике их эволюции, о наличии в них реликтовых свойств, о пространственном распределении почв Сибири, высокой динамичности почвенных режимов. Составлены почвенные карты для ряда областей Западной Сибири, опубликованы монографии, обобщающие результаты педогенетических, почвенно-географических, биогеохимических исследований по широкому кругу вопросов.

В докладе приведены основные результаты, полученные сотрудниками ИПА СО РАН в XXI в., а также перспективные направления исследований, которые успешно будут продолжаться в ближайшие десятилетия.

Почвенные исследования представлены следующими направлениями:

- изучение особенностей педогенеза, пространственного распределения почв: характеристика различных моделей почвообразования и направлений эволюции;
- инвентаризация почв и картографирование почвенного покрова различных сибирских регионов;
- проведение количественной оценки неоднородности почвенного покрова Сибири на различных уровнях его организации;
- развитие методов цифрового почвенного картографирования на базе ГИС и ДДЗЗ;
- исследование специфики гумусообразования и устойчивости экологического функционирования системы гумусовых веществ в почвах в естественных условиях и под влиянием земледельческой практики;
- разработка систем комплексной индикации состояния почв и почвенного покрова естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтов и проведение на их основе оценочных мероприятий;

- изучение вероятностных распределений, статистической энтропии и информационной дивергенции свойств почв на разных этапах эволюции в зависимости от факторов почвообразования и способов использования;
- создание информационно-аналитической базы пространственно распределённых данных свойств антропогенно-преобразованных почв;
- агрохимические исследования;
- исследование техногенно нарушенных территорий Сибири и научно-практические основы рекультивации нарушенных земель.

В связи с обширностью территории и сложностью природно-климатических условий состав почвенного покрова (ПП) Сибири характеризуется большим разнообразием. Так, на базе субстантивно-генетической классификации почв России проведена инвентаризация почвенных ресурсов Сибири. Установлено, что здесь встречаются почти все почвы, выделенные в Классификации и диагностике почв России (Шишов и др., 2004) (табл. 1). Также из 32 реферативных почвенных групп (РПГ), характеризующих почвенный покров мира (IUSS Working Group WRB..., 2015), почвы 21 РПГ встречаются в Сибири.

Таблица 1. Компонентный состав на уровне отделов (Шишов и др., 2004) почвенного покрова Сибири

Ствол почвообразования	Отдел, почвы	Ствол почвообразования	Отдел, почвы
Постлитогенное	1. Текстурно-дифференцированные	Постлитогенное	15. Элювиальные
	2. Альфегумусовые		16. Литоземы
	3. Железисто-метаморфические		17. Абраземы
	4. Структурно-метаморфические		18. Агроабраземы
	5. Криометаморфические		19. Агроземы
	6. Палево-метаморфические		20. Турбоземы
	7. Криоземы		Синлито-генное
	8. Глеевые	22. Стратоземы	
	9. Аккумулятивно-гумусовые	Первичное	23. Слаборазвитые
	10. Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные	Органогенное	24. Торфяные
	11. Щелочно-глинисто-дифференцируемые		25. Торфоземы
	12. Галоморфные	Техногенные поверхностные образования	1. Квализемы
	13. Гидрометаморфические		2. Натурфабрикаты
	14. Органо-аккумулятивные		3. Артифабрикаты

Результатом картографических работ являются цифровые почвенные карты различного масштаба от детальных (для ключевых участков) до среднемасштабных, например, для особо охраняемых природных территорий (заповедник

Кузнецкий Алатау, заповедно-природный парк Сибирские увалы), для некоторых районов Республики Горный Алтай, а также Новосибирской, Кемеровской областей, Алтайского края.

Почвенно-генетическое направление исследований, основанное классиками российского и сибирского почвоведения, активно развивается и в настоящее время. На примере малых рек Казахстана охарактеризовано синлитогенное почвообразование в Центральной Азии (Gavrilov, Mamirov, 2020). Изучены генетические особенности почв западин в южной части Западной Сибири и причины их разнообразия. Дана характеристика постаквального почвообразования и эволюции почв озерно-аллювиальных равнин степного биома Западной Сибири. Показаны генетические особенности засоления солонцовых почв степной и лесостепной зон, специфика их ионно-солевого профиля. Исследованы свойства почв, состав и структура почвенного покрова гумидного сектора Алтае-Саянской горной области (на примере Кузнецкого Алатау).

Результаты географических исследований почвенного покрова Сибири опубликованы в виде глав коллективных монографий: «Современная Россия: географическое описание нашего отечества. Сибирь» (География Сибири..., 2015) и «География Сибири в начале XXI века: в 6 т. Т. 2. Природа» (Современная Россия..., 2020).

Исследование неоднородности почвенного покрова (ПП) Западной Сибири показало, что наиболее гетерогенный ПП образуют микрокомбинации: комплексы, мозаики и ташеты. Они имеют сложное геометрическое строения, при низкой контрастности komponующих их почв. Мезокомбинации – сочетания, наоборот, формируют очень контрастный почвенный покров, но несложный геометрический рисунок уменьшает общую неоднородность и увеличивает монотонность почвенного покрова (табл. 2).

Разработана система комплексной индикации процессов опустынивания, имеющим место в степном биоме Сибири. В том числе выявлены почвенные (педогенные) индикаторы, характеризующие почвенно-деградационные процессы. К ним относятся дегумификация почв пахотных угодий и пастбищ, скелетизация, усиление атмосферного и гидрогенного засоления (Meyer at al., 2008). Увеличение площади солончаков, засоленных и солонцеватых почв, уменьшение площади акватории водных объектов (площадная динамика) представляют собой индикаторы ландшафтного уровня, которые показывают изменение соотношений в системе вода–суша на локальном и региональном уровнях.

По запросу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, относительно организации комплекса мер по борьбе с опустыниванием, Институтом предложен комплекс мероприятий для предотвращения

негативных процессов, имеющих место в степном биоме Сибири, приводящих к деградации ландшафтов в целом и почвенного покрова в частности.

В рамках выявления специфичности антропогенной трансформации почв в условиях Сибири изучены особенности почв, образовавшихся в результате агрогенной трансформации западносибирских черноземов. Установлено влияние мощности гумусового горизонта на их классификационное положение. Показаны эволюционно-генетический ряд и стадии агрогенной трансформации черноземов, а также влияние на них абразионного и синлитогенного агропедогенеза.

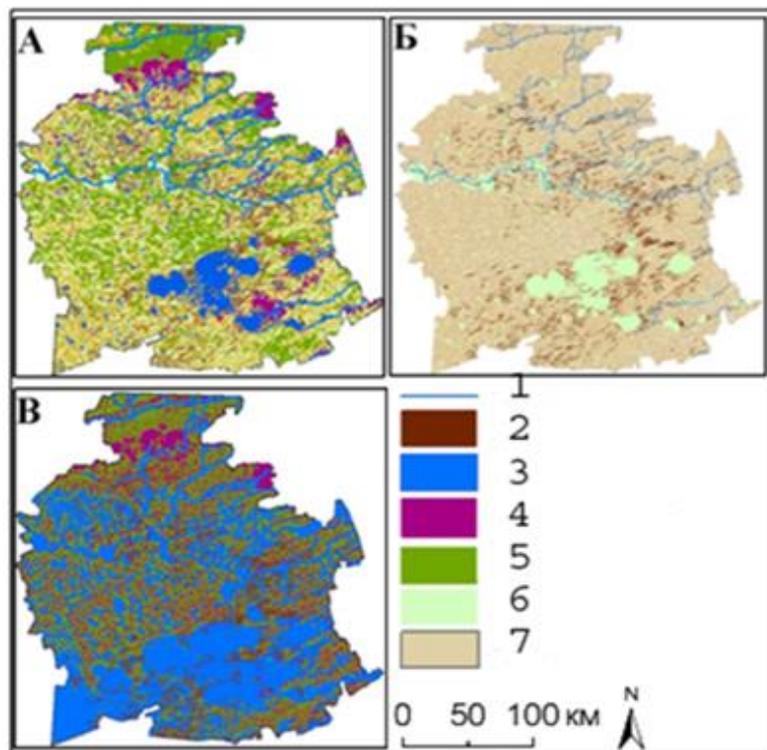
Таблица 2. Морфогенетические показатели почвенного покрова некоторых геоморфологических районов Западной Сибири

Геоморфологические районы с господством почвенных комбинаций		Показатели неоднородности почвенного покрова					
		\hat{S} , га	КР	КС	КК	КН	
Типичная тундра		0.6	1.3	2.2	11.2	24.6	
Лесостепь	Северная Бараба	10.4	1.9	0.2	31.5	5.7	
	Центральная Бараба. в т.ч. с господством пятнистостей	6.1	3.4	0.6	17.8	10.0	
	с господством сочетаний	8.7	2.4	0.3	23.8	6.6	
	Колывань-Томская возвышенность. в т.ч. серо-лесные сочетания	9.2	2.2	0.24	38.4	9.2	
	черноземные сочетания	4.3	2.2	0.53	25.6	13.6	
Чуйская степь, в т.ч.			КР	КВР			
с господством ташетов		0.25	1.1	5.1	4.4	6.5	28.6
с господством мозаик		0.15	1.05	4.4	7.0	5.8	40.6

Примечание. \hat{S} – средняя площадь контура, коэффициенты: КР – расчлененности, КС – сложности, КК – контрастности, КН – неоднородности

Большое внимание в ИПА СО РАН уделяется организации и проведению междисциплинарных исследований. Одним из важных направлений в рамках междисциплинарного подхода является развитие методов цифрового почвенного и ландшафтного картографирования. Примером этого является сотрудничество с лабораторией геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Института геологии и минералогии СО РАН. В результате этого сотрудничества на базе ГИС-моделей и ДДЗЗ были получены пространственно-распределенные прогнозные модели трансформации почвенного покрова лесостепной зоны Западной Сибири в зависимости от условий климатического увлажнения (рис. 1). Составлены схемы трансформации почвенного покрова и спрогнозированы потенциальные почвенно-деструкционные процессы при раз-

личных климатических трендах. Так, при дальнейшей аридизации климата на исследуемой территории вероятно увеличение в составе почвенного покрова площадей солончаков и почв первичного ствола почвообразования, малопродуктивных и крайне неустойчивых к экзогенным процессам. При гумидизации климата вследствие заполнения озерных котловин и увеличения площади водных объектов будет сокращаться общая площадь почвенного покрова и увеличиваться площадь заболоченных и переувлажнённых почв (Чупина и др., 2020).



Условные обозначения

1 – гидросеть.

Почвы и ландшафты:

- 2 – автоморфные на гривах;
- 3 – субаквальные (озера современные и прогнозируемые);
- 4 – болотные и гидроморфные;
- 5 – полугидроморфные,
- 6 – постаквальные галоморфные и слаборазвитые;
- 7 – автоморфные зональные и палеогидроморфные.

Рис. 1. Прогнозные карты трансформации почвенного покрова Барабинской равнины (лесостепная зона ЗС) при различных климатических трендах: А – современное состояние, Б – при аридизации атмосферного климата; В – при его гумидизации.

Также благодаря междисциплинарным исследованиям ИПА СО РАН вносит свой вклад в развитие концепции памяти почв. Так, при поддержке РФФИ начато изучение климатоиндикационной роли почвенных архивов в озерных котловинах степной Сибири. Эти природные архивы представляют собой почвенно-седиментационные последовательности (ПСП) палеобереговых валов. Установлено, что важным индикатором динамики среды и климата в голоцене является педо-лито-стратиграфическое строение последовательностей (рис. 2).

В их составе седиментационные слои фиксируют этапы озерного осадконакопления и трансгрессии озера, что соответствует гумидным климатическим фазам. Почвы маркируют пространственно и хронологически этапы педогенеза и, соответственно, регрессионные этапы озерного ритма и субаридные клима-

тические фазы. Радиоуглеродное датирование погребенных почв позволило установить временные границы периодов педогенеза и осадконакопления и, соответственно, аридных и гумидных климатических фаз. Для некоторых озер в основании озерных отложений обнаружены субэральные почвы, что свидетельствует об отсутствии этих водоемов в начале голоцена. По результатам мультидисциплинарных исследований (палинологических, геохимических, диатомовый, радиоуглеродный, изотопный анализ) двух типов природных архивов (озерных и почвенных) проведена климатическая и ландшафтная реконструкции голоцена для лесостепной зоны Западной Сибири.

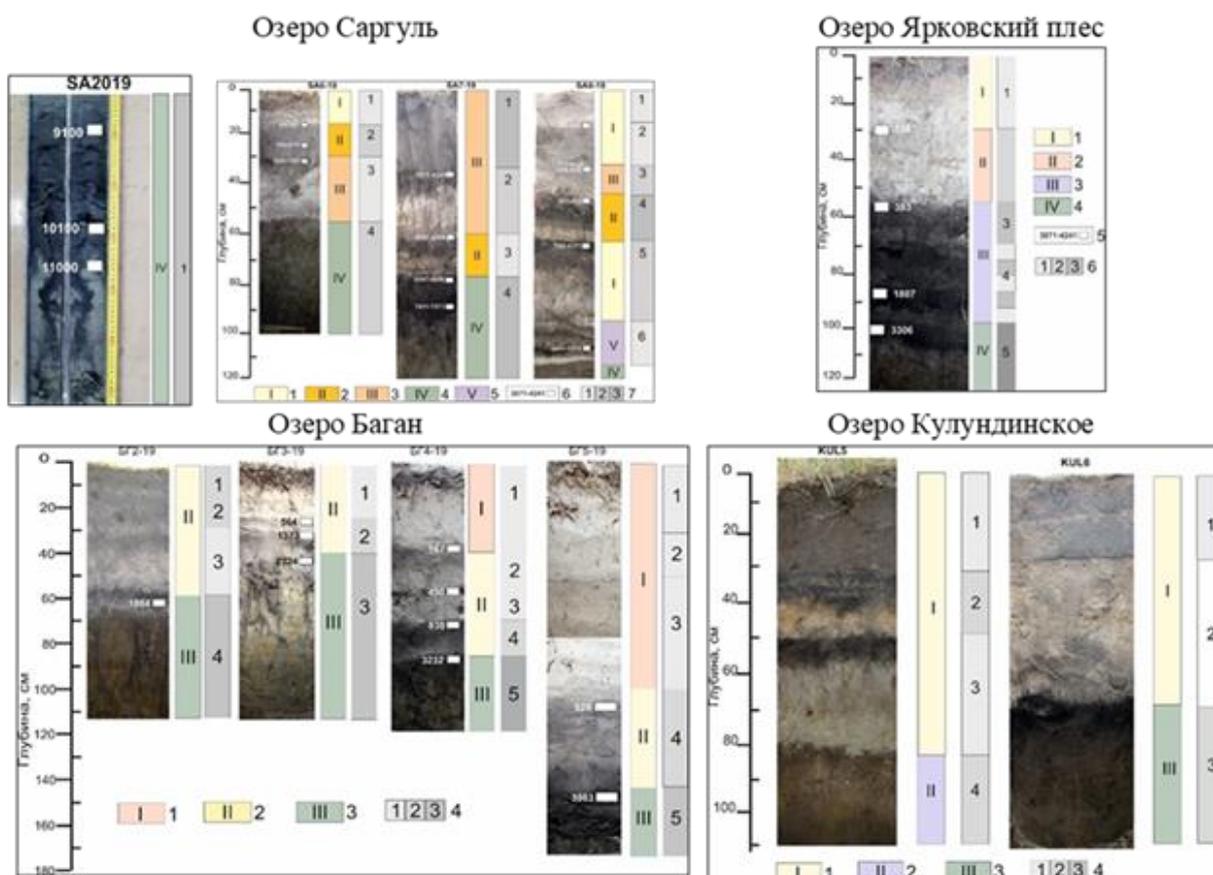


Рис. 2. Педо-лито-стратиграфия ПСП и возраст (по ^{14}C , кал.л.н.) погребенных почв в озерных котловинах Западной Сибири. SA2019 – почва, погребенная под озерными отложениями. Возраст ее 9100–11000 кал.л.н. (по медианным значениям).

Несмотря на достигнутые результаты, изученность почвенного покрова Сибири не в полной мере соответствует современным информационным требованиям фундаментальной науки и практике землепользования. Основные представления о почвах и почвенном покрове этого обширного региона изложены в работах конца прошлого века. Актуализация этой информации происходит недостаточно быстро. Так, в XXI в. были дополнены и расширены знания лишь об

отдельных компонентах почвенного покрова Сибири и в меньшей степени о его пространственной организации. Кроме того, в связи со сменой методологического подхода в области диагностики и классификации почв требуется корректировка сложившихся ранее концепций о пространственной организации почвенного покрова в соответствии с современными представлениями и региональными особенностями Сибири. Наименее изученными в почвенном отношении остаются северные регионы и горные территории.

Перспективы почвенных исследований также связаны с быстрыми темпами освоения северной, слабо изученной в почвенном плане, части Сибири под добычу полезных ископаемых. Существующие темпы развития инфраструктуры в районах добычи полезных ископаемых намного опережают темпы исследований природных комплексов, в том числе почвенного покрова. Это связано с обширностью территории, ее труднодоступностью, а также с недостаточным финансированием фундаментальных исследований.

В настоящее время в Сибири хорошо изучена только территория сельскохозяйственного назначения, на которую приходится менее 10% площади. И здесь имеются определенные успехи в проведении агрохимических исследований.

Агрохимические исследования в Западной Сибири начались ещё до создания ИПА СО РАН. В системе Академии наук Сибири лаборатория агрохимического направления была создана в 1962 г. как лаборатория плодородия Почвенного отдела Биологического института СО АН СССР; после ряда реорганизаций это структурное подразделение в 1997 г. трансформировалось в лабораторию агрохимии ИПА СО РАН, успешно работающую по настоящее время. В числе наиболее важных достижений лаборатории агрохимии в области фундаментальных и прикладных исследований за последние годы следует отметить следующие:

- установлена специфика баланса и трансформации азота в агроэкосистемах, изучены цикл азота в системе почва–растение–удобрение и особенности азотмобилизующей способности выращиваемых культур в зависимости от свойств почв, особенностей климата и генотипа;

- разработан системный подход к оценке и регулированию режима калия в агроценозах, исследованы процессы трансформации калийного состояния и плодородия зональных пахотных почв;

- выявлены особенности трансформации почвенного фонда серы и влияния серы на продукционный процесс выращиваемых культур;

- изучены микробиологические свойства почв сельскохозяйственных и лесохозяйственных экосистем, в том числе биоразнообразие микробных сообществ и специфика свойств ризосферы растений;

– проведены исследования баланса и запасов азота и углерода в тундровых экосистемах Сибири.

В настоящее время исследования лаборатории агрохимии ИПА СО РАН ведутся по следующим основным направлениям:

1) разработка теоретических основ, критериев и индикаторов оценки и регулирования антропогенной трансформации почв в целях сохранения, воспроизводства и рационального использования почвенного плодородия;

2) установление закономерностей циклов биофильных элементов и токсиантов в естественных и антропогенных экосистемах в изменяющихся условиях природной среды;

3) выявление специфики функционирования, механизмов адаптации и структуры микробных сообществ почв, в том числе путем анализа разнообразия ДНК, как индикаторов агроэкологического состояния биоценозов.

В качестве примеров конкретных полученных результатов можно отметить такие: установлена специфика действия и последствий калийных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и трансформацию почвенного фонда калия; выявлено действие форм и доз калийных удобрений на показатели качества и кулинарные свойства картофеля. Определены закономерности изменения содержания форм калия и магния в почвенном профиле при длительном сельскохозяйственном использовании почвы. В рамках междисциплинарных исследований, проведенных совместно с Институтом цитологии и генетики СО РАН, показано положительное средообразующее воздействие мискантуса (*Miscanthus sacchariflorus*) сорта Сорановский при длительном бессменном выращивании на низко плодородных почвах, перспективность выращивания этой культуры в континентальных регионах России. Выявлены закономерности взаимовлияния калия и магния при поглощении растениями и в почвенных процессах при возделывании картофеля в лесостепи Западной Сибири. Проведена оценка метагеномными методами биоразнообразия микробных сообществ почв антропогенных и ненарушенных экосистем Сибири.

В рамках междисциплинарного проекта СО РАН по интегральной характеристике криолитозоны на базе НИС о. Самойловский исследованы базовые свойства тундровых почв, установлены запасы надземной фитомассы и почвенного органического вещества на основе комплексного использования магнитной и георадиолокационной съемки, выявлена специфика циклов азота и углерода в аласах острова Курунгах.

Еще одним из основных направлений исследований ИПА является развитие исследований техногенно нарушенных земель и разработка научно-практических основ их рекультивации.

ИПА СО РАН с момента своего образования занимался проблемами рекультивации почв. За эти годы исследований техногенных ландшафтов ученые-почвоведы сталкивались с разными проблемами, связанными с восстановлением почв, отработкой методик обследования, изучения свойств и режимов молодых почв. В начале разработки подходов к рекультивации нарушенных земель были сформированы некоторые нормативные документы, ГОСТы, регламентирующие проведение рекультивационных работ. Однако в настоящее время многие из них устарели и требуют значительной переработки. На начальном этапе в нормативных документах было требование восстановления исходного ландшафта, т.е. действовал принцип, что нарушил, то и восстанови. Однако по мере изучения техногенных ландшафтов и накопления практического опыта проведения рекультивационных работ стало понятно, что полностью восстановить исходный ландшафт практически невозможно или для этого потребуются очень большие затраты. Поэтому мы считаем, что в современных условиях в большинстве случаев необходимо и достаточно провести мероприятия, направленные на предотвращение негативного влияния техногенных ландшафтов на прилегающие территории, и создать условия для совместного постепенного (или сукцессионного) восстановления главных компонентов наземных экосистем почв и растений. В настоящее время частично это решается введением новых ГОСТов, наилучших доступных технологий рекультивации и других нормативных документов, в разработке которых принимали участие и наши сотрудники в 1985–1990 гг.

В 1990–2000 гг. выполнялись исследования техногенных ландшафтов в разных регионах, но основные исследования выполнялись в Кузбассе, Туве, Хакасии и на севере в районах газо-, нефтедобычи. В это время активно проводились работы с проектными организациями по оптимизации технологий рекультивации для различных техногенных объектов. Совместно с сотрудниками Головного проектного Института ВнипиГазодобыча были проведены комплексные работы по газопроводу от Нижневартовска до Новокузнецка. При этом впервые была отработана методика проведения рекультивационных работ по секторам прохождения трубопровода с учетом различных ландшафтных и климатических условий. В дальнейшем такой подход стал использоваться при строительстве практически всех трубопроводов, например, газопровода в Белокуриху и такого крупного трубопровода как Сила Сибири. К середине 2000-х гг. был накоплен обширный материал по обследованию и отработке технологий рекультивации на различных техногенных объектах – от отвалов и шламохранилищ полиметаллических руд Хову-Асы в Туве и на юге Кузбасса, до шламовых амбаров и песчаных карьеров на севере в ЯНАО, от Приморья на Лучегор-

ском угольном разрезе, до юга Казахстана на Каратауском месторождении фосфоритов.

Такие обширные в географическом отношении исследования, основанные на теоретических, фундаментальных работах в области почвоведения, позволили разработать научно-практические основы рекультивации нарушенных почв. Впервые было показано, что молодые почвы техногенных ландшафтов являются в классическом понимании естественно-историческими почвенными образованиями, несмотря на значительное воздействие техногенеза и очень небольшой период развития. На основе профильно-субстантивно-генетического подхода была разработана классификация почв техногенных ландшафтов (Экология и рекультивация..., 1992). При этом эта классификация направлена, в общем-то, не только на определение таксономического места этих почв, но и на использование в качестве инструмента для обследования техногенных ландшафтов, определения почвенно-экологического состояния и для оценки перспектив восстановления.

На основании разработанной профильно-генетической классификации почв техногенных ландшафтов был предложен метод почвенно-экологической оценки состояния их территории (Андроханов, Курачев, 2010). Понятие почвенно-экологическое состояние техногенного ландшафта определяется, как способность почвы конкретного местообитания в данном техногенном ландшафте поддерживать тот или иной уровень жизнеобеспечения биоценозов (уровень главной функции почвы). Теоретическая и экспериментальная проверка этого метода на техногенно нарушенных территориях Кузбасса показала, что почвенный покров техногенных ландшафтов чрезвычайно мозаичен и при благоприятных условиях весьма динамичен. При этом синхронно с динамикой процессов формирования почвенного покрова в техногенном ландшафте изменяется и его почвенно-экологическое состояние. Чем больше в структуре почвенного покрова остается неразвитых почв – эмбриоземов инициальных, характеризующихся только почвенно-экологическими функциями, унаследованными от пород, тем хуже почвенно-экологическое состояние такого ландшафта. Техногенный ландшафт, в котором преобладают инициальные эмбриоземы, можно считать техногенной пустыней.

Реализация этого метода в Кузбассе показала, что на сегодняшний день почти треть техногенных ландшафтов (32.5%) представлена техногенной пустыней, т.е. восстановление растительного и почвенного покрова практически не происходит даже за 20 лет, и только немногим более десятой части нарушенных площадей (13%) характеризуется хорошим почвенно-экологическим состоянием.

Приведенные материалы характеризуют усредненную картину. Тем не менее, на основании этих данных можно решать и конкретные вопросы при принятии решения по рекультивации нарушенных территорий. Оценка почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов показала, что при значительном преобладании местообитаний, относящихся к 3, 4 и 5 группам, рекультивация либо не нужна, либо может быть ограничена только биологическими приемами (посев трав, лесная рекультивация). Если преобладают первые две группы, то методов биологической рекультивации недостаточно. В этом случае необходимо проведение горнотехнических мероприятий (планировка поверхности, формирование благоприятного корнеобитаемого слоя и т.д.). Таким образом, оценка почвенно-экологического состояния предлагаемым методом позволяет решить не только общеэкологические, теоретические проблемы, но и некоторые прикладные задачи.

Таблица 3. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов Кузбасса

Состояние	Гектары	%, от общей площади
Неудовлетворительное	32 500	32.5
Удовлетворительное	54 000	54.0
Хорошее	13 000	13.0
Очень хорошее	500	0.5
Отличное	Нет	Нет
Итого:	100 000	100

Это все, что уже сделано и во многом используется в практическом и теоретическом плане, это, так сказать, вчерашний и сегодняшний день. Теперь немного о перспективах.

В настоящее время в связи с обострением глобальных проблем, обусловленных потеплением климата, был проведен ряд исследований по температурному режиму техногенных ландшафтов. Оказалось, что они значительно теплее естественных ландшафтов и могут работать как нагреватели, повышая температуру на прилегающих территориях и формируя фёны и термики. Температура воздуха на прилегающих территориях в 1.5–2 раза выше температур естественных территорий, а относительная влажность воздуха значительно ниже. По мере удаления от техногенных объектов данные показатели приобретают значения, сходные с контрольным участком. Учитывая то, что техногенные ландшафты могут составлять тысячи га, необходимо оценить их вклад в изменение региональных климатических параметров. Мы уже сейчас фиксируем повышение суммы температур на прилегающих территориях от 200 до 1000°.

Второе направление – это использование нарушенных территорий под полигоны секвенирования CO₂. Если на естественных почвах в связи со сбалансированностью процессов гумусонакопления проблематично быстро накапливать гумус, поэтому секвенирование в основном связывают с биомассой растений, то на нарушенных землях, создавая субстраты с высоким потенциалом гумусонакопления (это в основном суглинки), можно отработать технологии накопления органического вещества как в наземной биомассе, так и в почве. Поэтому в принципе возможно рассматривать эти участки как перспективные для создания карбоновых полигонов, тем более что до конца не решена проблема техногенного органического вещества и его влияния на почвообразовательные процессы в техногенных ландшафтах (Соколов и др., 2021).

Выполнение многолетних исследований техногенных ландшафтов, расположенных в различных зонах, позволило сформулировать основные положения научно-практических основ рекультивации:

1. Выявление и исследование индивидуальной специфики ТЛ, с последующим анализом основных, лимитирующих восстановление факторов. Умение выявлять, понимать и снимать лимитирующие факторы должно являться основной задачей специалиста, предлагающего ту или иную технологию восстановления нарушенных территорий.

2. Оценка ПЭС с учетом уровня восстановления почвенного и растительного покрова. От этого зависят перспективы дальнейшего функционирования ТЛ.

3. Разработка технологий рекультивации с заданными параметрами эффективности и с рациональным использованием местных природных ресурсов согласно цели рекультивации. Только мы можем на любом этапе, от проектирования до закрытия горнодобывающего предприятия определить перспективы того или иного направления рекультивации и провести корректировку проекта рекультивации для достижения конкретной цели рекультивации.

4. Оценка эффективности рекультивации с использованием методов бонитировки и расчета соотношения параметров естественной и рекультивированной почвы $ПЭР = Бп \times Ксп$. Эффективность рекультивации определяется не тем, что растет – лес или трава на нарушенных землях, а насколько сформированные рекультивированные почвы соответствуют естественным почвам. В настоящее время нам потихоньку удастся это донести до разных специалистов, занимающихся рекультивацией нарушенных земель.

5. Мониторинг нарушенных и восстановленных территорий в посттехногенный период, оценка воздействия на прилегающие территории. Многие территории рекультивированы, а негативное воздействие продолжается. Поэтому

есть насущная необходимость продолжения мониторинга в посттехногенный период.

Таким образом, многолетние исследования по проблемам рекультивации, проведенные на техногенно нарушенных территориях, показали, что, к сожалению, простых способов восстановления нарушенных почв с высокой почвенно-экологической эффективностью не бывает. Практически во всех случаях необходимо разрабатывать и применять целый комплекс рекультивационных мероприятий, главным назначением которого является создание условий для максимально возможного ускорения процессов самовосстановления и почвообразования в разрушенных экосистемах для снижения неблагоприятного воздействия техногенных ландшафтов на прилегающие территории.

Проведенные и продолжающиеся почвенные исследования на данной территории показывают, что любая природно-климатическая зона Сибири имеет огромное значение поддержания экономической, продовольственной и экологической стабильности России. Арктическая и тундровая зоны – характеризуют климатические изменения, здесь же проводятся работы по отработке технологий поддержания экосистем в условиях антропогенного воздействия и изменения глобального климата. Таежная зона – лесной ресурс, регулирование потоков CO₂, методы освоения данной территории при сохранении почвенно-экологических функций. Лесостепная и степная зоны – обеспечение продовольственной стабильности и сохранение почвенных ресурсов. Горы – рекреационный, лесной и водный ресурсы. Таким образом, в настоящее время территорию Сибири необходимо рассматривать как стратегическую, и получение современных знаний о почвах позволит выйти на понимание значимости почвенного покрова, да и всех природных ресурсов Сибири на новый уровень.

Для интенсификации почвенных исследований необходимо создать комиссию или комитет в структуре Общества почвоведов по координации почвенных исследований в Сибири. К сожалению, мы недостаточно скоординированы и мало знаем о проблемах, связанных с освоением сибирских почв в других регионах Томской, Омской, Иркутской областей, Алтайского края, Республики Саха (Якутии). В тоже время в этих регионах достаточно развиты различные направления почвенных исследований. Поэтому в настоящее время в связи с дефицитом почвоведов в Сибири можно объединить специалистов различных сибирских регионов, может быть, определить их специализацию, и тогда можно будет более эффективно организовать почвенные исследования на территории Сибири.

В завершение следует сказать, что состояние и перспективы развития почвоведения и агрохимии в Сибири в немалой степени связаны с результатами работ сотрудников ИПА СО РАН. На протяжении многих лет Институт обеспе-

чивал и обеспечивает значительный вклад в достижения фундаментальной и прикладной науки, являясь определенным стимулом и ориентиром для развития почвенных и агрохимических исследований и формирования научных школ в других профильных учреждениях сибирского региона.

Литература

Андроханов, В. А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / В. А. Андроханов, В. М. Курачев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2010. – 224 с.

География Сибири в начале XXI века: в 6 т. / гл. ред. В. М. Плюсин. // Т. 2. Природа / отв. ред.: Ю. М. Семенов, А. В. Белов. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2015. – 390 с.

Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.

Полициклические ароматические углеводороды в почвах отвалов антрацитовых месторождений Сибири / Д. А. Соколов, С. В. Морозов, Е. В. Абакумов, В. А. Андроханов // Почвоведение. – 2021. – № 6. – С. 701–714.

Современная Россия: географическое описание нашего отечества. Сибирь. – Москва : изд-во Паулсен, 2020. – 512 с.

Чупина, Д. А. Прогнозное картографирование пространственно-временной динамики экосистем при разнонаправленных трендах климатического увлажнения в субаридных условиях / Д. А. Чупина, И. Д. Зольников, Е. Н. Смоленцева // Сибирский экологический журнал. – 2020. – №5. – С. 662–675.

Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1992. – 305 с.

Gavrilov, D. A. Geoarchaeology of the Derkul River floodplain, Цест Kazakhstan: Soil formation, sediment accumulation and human settlement / D. A. Gavrilov, T. B. Mamirov // Holocene. – 2020. – P. 0959683620981720. – DOI: 10.1177/0959683620981720/

Indicators of desertification in the Kulunda steppe in the south of Western Siberia / B. C. Meyer, V. Schreiner, E. N. Smolentseva, B. A. Smolentsev // Arch. Agron. Soil Sci. – 2008. – Vol. 54, N 6. – P. 585–603.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. № 106. – Rome, 2015. – 192 p.

УДК 631.48

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Кирюшин В.И.¹, Лукин С.В.², Дубачинская Н.Н.², Минаев Н.В.²

¹ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

² Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург

Достижения адаптивно-ландшафтного земледелия. В 2022 г. исполняется 30 лет со времени знаменитой сессии ООН в Рио-де-Жанейро, принявшей биосферную парадигму природопользования, и Докучаевской сессии Россельхозакадемии, призвавшей к развитию ландшафтного подхода к земледелию и землепользованию. Этот призыв был активно воспринят научным сообществом. Активизировались исследования по проблемам экологизации земледелия, которые развивались по трем основным направлениям: землеустроительному проектированию, ландшафтному планированию и проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ).

В 1990-х гг. был опубликован ряд подходов и концепций формирования систем земледелия под названиями: адаптивные, экологические, ландшафтные, биоценоотические, агроландшафтные и т.д. Наиболее полное развитие получила концепция адаптивно-ландшафтного земледелия, первоначально основанная на опыте почвозащитного земледелия А.И. Бараева и ряде многофакторных многолетних полевых экспериментов в Казахстане и Западной Сибири (Кирюшин, 2011). В дальнейшем этот опыт расширился в результате исследований, проводимых на базе учхоза «Михайловское» МСХА имени К.А. Тимирязева и ОПХ Владимирского НИИСХ. На основе этих и других исследований были разработаны классификация АЛСЗ, система агроэкологической оценки и типология земель, методика почвенно-ландшафтного картографирования и проектирования в АгроГИС.

АЛСЗ формируется применительно к агроэкологической группе земель и включает организацию территории (противоэрозионную, мелиоративную и т.д.), системы севооборотов, обработки почвы, удобрения и защиты растений. Группы выделяются по определяющим агроэкологическим условиям (плакорные, эрозионные, полугидроморфные, засоленные, солонцовые и др.). АЛСЗ реализуются пакетами агротехнологий (экстенсивных, нормальных, интенсивных, точных), которые определяются сортами (толерантными, пластичными, интенсивными) и разрабатываются применительно к агроэкологическим видам земель, т.е. элементарным ареалам агроландшафта (элементарный почвенный ареал или элементарная почвенная структура).

В ряде регионов страны были разработаны цифровые проекты АЛСЗ и наукоемких агротехнологий для крупных сельскохозяйственных предприятий. Первые итоги становления адаптивно-ландшафтного земледелия были подведены в обширной монографии (Агроэкологическая оценка..., 2005). Таким образом были созданы научные предпосылки для освоения АЛСЗ и необходимый инструментарий в виде методики почвенно-ландшафтного картографирования и проектирования АЛСЗ. В качестве необходимого условия выполнения этих работ было обосновано создание земельной службы с соответствующими функциями. Решение этой задачи на уровне страны задержалось, но удалось создать региональную модель земельной службы на базе агрохимической службы Белгородской области благодаря поддержке губернатора Е.С. Савченко. В качестве руководства послужило Постановление Губернатора Белгородской области «Об утверждении Положения о проекте адаптивно-ландшафтной системы земледелия и охраны почв». Данным нормативным актом был установлен порядок выполнения работ по проектированию и освоению АЛСЗ (Белгородская модель..., 2019).

За десятилетний период их освоения (2011-2021) значительно изменилась структура угодий и посевов, сокращены площади чистых паров, резко возросла доля бобовых культур, особенно сои, введены сидераты, утилизированы стоки животноводческих ферм, удвоилась эффективность минеральных удобрений, резко сократилось проявление эрозионных процессов. По средневзвешенным данным за этот период содержание гумуса увеличилось на 0.17%, подвижных форм фосфора – на 26 мг/кг, калия – на 37 мг/кг, серы – на 1.31 мг/кг. Ежегодное накопление азота за счет фиксации бобовыми культурами увеличилось с 14.4 до 33.8 тыс. т в год. Внесение органических удобрений возросло с 1.8 до 9.3 т/га. В итоге значительно возросла урожайность: зерновых и зернобобовых культур – с 2.9 до 4.8 т/га, сои – с 1.0 т/га до 2.2 т/га, подсолнечника – с 1.6 до 2.9 т/га, сахарной свеклы – с 27.3 до 44.6 т/га.

Ближайшие задачи. В настоящее время можно говорить о втором этапе развития научно-инновационного обеспечения АЛСЗ и наукоемких агротехнологий. Оно связано с повышением качества агроэкологической оценки земель, развитием методов цифрового почвенно-ландшафтного картографирования и проектирования противоэрозионной и мелиоративной организации территории, программного обеспечения. Это необходимо для развития системы инновационного обеспечения агротехнологий, которая включает реестры агроэкологических видов земель, региональные регистры агротехнологий и реестры сортов сельскохозяйственных культур.

Опыт проектирования и освоения АЛСЗ и агротехнологий свидетельствует о необходимости более адекватной идентификации и формализации агроэко-

логических видов земель, поскольку применительно к ним адаптируются культуры и агротехнологии. Вид земель, или элементарный ареал агроландшафта представляет собой элемент мезорельефа, ограниченный элементарным почвенным ареалом или элементарной почвенной структурой, и характеризуется совокупностью показателей почв, рельефа, почвообразующих пород, микроклиматических и гидрогеологических условий, которые учитываются при формировании агротехнологий. Алгоритм их разработки заключается в адаптации к нерегулируемым факторам и последовательном устранении лимитирующих условий. При составлении проектов проектировщик обязан четко отражать эти условия и обосновывать выбор технологических операций. При их освоении товаропроизводитель должен свободно ориентироваться в терминах и мотивациях. Как показал опыт, данные требования не всегда выполняются из-за слабой подготовки почвоведов по земледелию и земледельцев по почвоведению. В данной связи предложено разрабатывать достаточно мотивированные региональные реестры агроэкологических видов земель в пределах соответствующих групп земель. В них конкретизируются и формализуются агроэкологические требования к агротехнологиям. Наиболее трудоемкой составляющей этой задачи является оценка продуктивности видов земель и экономической эффективности их использования, которые разрабатываются для трех уровней интенсификации земледелия на основе обобщения данных многолетних полевых экспериментов научных учреждений и производственного опыта. Такая работа выполнена для Оренбургской области (Кирюшин и др., 2021). Систематизация агротехнологий осуществляется в виде региональных регистров технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Методология их формирования разработана в 90-х годах (Кирюшин, 2011). Тогда же были начаты работы по их формированию. После длительного перерыва они восстанавливаются. В частности, появились такие материалы для ЦЧО (Регистр технологий..., 2013). Существенным их недостатком является слабая идентификация почвенных условий, для которых разрабатываются технологические операции.

Содержание агротехнологий диктуется требованиями сорта и агроэкологическими условиями вида земель. Эти требования отражаются реестрами сортов сельскохозяйственных культур, которые разрабатываются для природно-сельскохозяйственных провинций на основе производственных испытаний сортов, обобщения практического опыта и материалов Госсортосети. Такой «трехсторонний» подход к инновационному обеспечению агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии требует разработки соответствующей системы нормативов, адекватных методов диагностики агроэкологических условий, в особенности, почвенных. Для этого необходимо широкое использование дистанционных средств зондирования поверхности земли, развития цифровых ме-

тодов почвенно-ландшафтного картографирования в АгроГИС, совершенствование классификации почв и земель.

Оптимизация земледелия по условиям изменяющегося климата, влиянию на климат. Проблема потепления климата характеризуется множеством негативных аспектов, и в то же время важное значение имеет использование дополнительного тепла в районах с низкой или пониженной теплообеспеченностью, преобладающих в России. В настоящее время в центре внимания находится сокращение парниковых газов с целью предотвращения потепления. Эта задача при всей ее значимости приобрела местами мифический, коммерческий, политизированный характер. Широко фигурирует термин «карбоновое земледелие». Эксперты Высшей школы экономики оценили потенциальный доход РФ от продажи углеродных единиц на мировом карбонатном рынке в 50 млрд дол. в год за счет карбонового земледелия и лесоразведения. Пропагандисты карбонового земледелия, в частности, авторы нашумевшего доклада «Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России» (2021), трактуя его как аналог регенеративного сельского хозяйства, особо подчеркивают, что «снижение выброса парниковых газов достигается среди прочего за счет минимизации использования агрохимикатов (удобрений, средств защиты растений)». С той же целью различные авторы рекомендуют сокращение обработки почвы, уменьшение доли чистых паров, применение сидератов, покровных посевов и другие важные мероприятия и, при этом, отрицают агрохимические средства. Это фатальная ошибка, поскольку эти мероприятия, в большинстве случаев, малоэффективны без применения удобрений. В частности, минимизация обработки почвы, особенно прямой посев, требуют применения азотных удобрений для компенсации усиливающегося дефицита азота и использования гербицидов для преодоления возрастающей засоренности посевов. По этой же причине необходимым условием сокращения чистых паров в лесостепной зоне является применение удобрений.

Влияние агрохимических средств на секвестрацию CO₂ осуществляется через повышение продукции полевых культур, сидератов, пожнивных и покосных культур. При этом особое значение имеет системообразующая роль минеральных удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии, учитывая их влияние на различные элементы земледелия, выбор севооборотов, систем обработки почвы и т.д. Регулирование баланса углерода, в том числе сокращение его избытка в атмосфере, наиболее эффективно достигается в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. Повышение требований к поглощению избытка CO₂ атмосферы, образовавшегося ранее или возникающего из других источников, возможно за счет окультуривания значительной части подзолистых, дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв, гармонизации земледелия и

животноводства и упорядочения использования отходов, защитного лесоразведения. Последнее является в определенной мере альтернативой известным рекомендациям по созданию лесов с самоцелью секвестрации углерода. Существует множество задач по упорядочению природопользования с помощью лесоразведения, в том числе создание экологического каркаса территории. На это должны быть направлены инвестиции, а «сокращение парникового эффекта» будет сопутствующим результатом. При этом важно учесть множество ошибок кампании, которая называлась Сталинским планом преобразования природы. Тогда фетишизировалась задача изменения климата путем преграждения суховеев лесными полосами при неподготовленности ландшафтно-экологической основы и слабой научной обоснованности проблемы.

Решая задачи предотвращения потепления климата, нельзя не видеть возможность и целесообразность использования положительных его изменений. За последние 15 лет повышение температуры на северных территориях привело к увеличению периода вегетации на 5–10 дней. В большинстве случаев повышение температуры сопровождается увеличением в разной степени годовых сумм осадков. Необходимо установить территории с различными трендами теплообеспеченности и влагообеспеченности и возможные риски, связанные с неустойчивостью климата.

В этой связи потребуются решение ряда задач по адаптации земледелия к новым условиям, в особенности развитие вероятностного подхода к планированию агротехнологий в связи с климатическими рисками, маневрирование сортами, приемами обработки почвы, сроками посева, нормами высева и т.д. с учетом изменения почвенных режимов и свойств почв в новых условиях.

Развитие теории адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. Дальнейшее развитие АЛСЗ связано с совершенствованием организации территории с точки зрения регулирования энергомассопереноса, в особенности твердого, жидкого и ионного стока. Эти задачи в должной мере не могут быть решены в пределах полевой инфраструктуры безотносительно к географическому ландшафту. Соответственно проблема АЛСЗ перерастает в проблему проектирования агроландшафтов, а затем в целом сельскохозяйственных ландшафтов, включая водохозяйственные, животноводческие, лесохозяйственные, селитебные и др. Конструирование сельскохозяйственных ландшафтов в системе экологического каркаса территории основывается на трансформации части экологических функций ландшафта в социально-экономические. Для этого предложены механизм и инструментарий проектирования, включающего группировки этих функций и методику ландшафтно-экологического анализа территории (Кирюшин, 2018). Развитие этих работ требует углубления биоценотического подхода, начиная с самой почвы,

которая давно рассматривалась различными авторами как педоценоз, педосистема, педострата, поскольку она имеет несколько подсистем, несущих различные функции. Соответственно должно быть «распаковано» и более глубоко осмыслено понятие «плодородие почвы». Оно сегодня спрятано за выражением «обеспечение растений благоприятными условиями для роста и развития». Нетрудно видеть, что в этом процессе участвуют также атмосфера, гидросфера, литосфера, что дало основания В.И. Вернадскому говорить о плодородии биосферы. Действительно, сопоставляя экологические функции почв и ландшафтов (Кирюшин, 2018), мы видим, что первые являются частью вторых. Все они в разной степени участвуют в продукционном процессе растений. Ключевую роль выполняет продукционная функция ландшафта, сопровождаемая атмосферными функциями, которые обеспечивают растение факторами жизни – светом, теплом, воздухом, частично азотным питанием. Почва помимо обеспечения минеральным питанием растений перераспределяет влияние атмосферных функций ландшафта. Функция минерального питания поддерживается деструкционной функцией ландшафта (минерализация органического вещества), газовой (азотфиксация), биохимической (жизнедеятельность биоты) и др. Таким образом, плодородие почвы представляет собой совокупность экологических функций почвы, сопряженных с функциями ландшафта, определяющими продуктивность экосистемы и воспроизводство почвы. В этой связи особое значение приобретает развитие классификации почв, как основы для формирования ландшафтно-экологической классификации земель и проектирования сельскохозяйственных ландшафтов.

Литература

Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.

Белгородская модель адаптивно-ландшафтного земледелия. – Белгород : Константа, 2019. – 269 с.

Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России / под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова. – Москва : Изд. дом ВШЭ, 2021.

Кирюшин, В. И. Комплексная оценка сельскохозяйственных земель на примере Южного Урала / В. И. Кирюшин, Н. Н. Дубачинская, А. Ю. Юрова // Почвоведение. – 2021. – № 11. – С. 1363–1375.

Кирюшин, В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – Москва : КолосС, 2011. – 443 с.

Кирюшин, В. И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов / В. И. Кирюшин. – СПб. : ООО «Квадро», 2018. – 568 с.

Регистр технологий возделывания зерновых культур для Центрального Черноземья. – Курск, 2013. – 249 с.

УДК 631.46

БИОЛОГИЯ ПОЧВ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**Степанов А.Л.¹, Манучарова Н.А.¹, Семенов М.В.², Никитин Д.А.²**¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва² ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

Почва – уникальный природный объект, в основе функционирования которого лежит взаимодействие косной (мертвой) материи и живых организмов. Важнейшие производственные (сельскохозяйственные) и экологические функции почв определяются присутствием и активностью почвенной биоты. Сообщества почвенных микроорганизмов, насчитывающие тысячи видов и достигающие численности миллиардов клеток в грамме почвы, осуществляют множество биологических процессов, критически важных для экосистем и биосферы в целом. Они принимают участие в глобальных циклах углерода, азота, фосфора и других важнейших биофильных элементов, регулируя их содержание в почве и доступность для растений; определяют состав почвенного органического вещества через синтез одних и разложение других соединений; непосредственно влияют на питание и развитие растений в качестве симбионтов, паразитов и их антагонистов; регулируют состав атмосферы посредством продукции и поглощения парниковых газов.

Современным этапом почвенной биологии стало использование молекулярно-генетических методов, базирующихся на выделении тотальной микробной ДНК из почвы и последующем ее анализе. Оказалось, что традиционные представления о таксономическом составе и экологии микробного населения почв требуют пересмотра и переосмысления. Высокопроизводительное секвенирование ампликонов (метабаркодинг) и метагеномов (метагеномика) предоставили прямой доступ к колоссальному генетическому разнообразию “некультивируемого большинства” микроорганизмов в почве, потенциал которого может быть мобилизован для решения широкого спектра теоретических и прикладных задач.

Последние исследования в области микробиологии указывают на то, что почва является крупнейшим депозитарием микроорганизмов на планете, как по совокупной массе генетического материала, так и по его разнообразию. Анализ ампликонов и метагеномов имеет колоссальное значение для исследования микробного разнообразия почв и поиска функциональных генов, кодирующих синтез ферментов, антибиотиков и других физиологически активных веществ. Именно с помощью метагеномики микробиологам удалось выявить некультивируемые, методами классической микробиологии виды, либо наоборот, обна-

руживать новые организмы, минуя этап выделения чистых культур. Ярким примером успешного поиска новых антибиотиков в почвенных метагеномах служит открытие малацидинов. Также с помощью почвенной метагеномики были открыты антибиотики турбомицин А и турбомицин В. В почвенной метагеномной ДНК были обнаружены гены, ответственные за синтез амидазы – фермента, который используется в биосинтезе β -лактамных антибиотиков. Также был выявлен кластер *hog* генов, кодирующих соединения на основе индолотриптолина.

Сегодня показатели почвенного микробиома успешно применяются в качестве биологических индикаторов состояния почвы и выполняемых ею экологических функций – биоресурсной, углеродтрансформирующей и фитосанитарной. Благодаря высокой экологической пластичности и колоссальному разнообразию, сообщество почвенных микроорганизмов может служить высокочувствительным индикатором состояния окружающей среды, позволяющего оценить общий эффект от воздействия различных экологических факторов. Мониторинг биоресурсной функции почв (поддержание почвой биоразнообразия и численности сообществ организмов) основан на оценке индексов микробного разнообразия с помощью молекулярно-генетических методов. Для оценки процессов трансформации углерода может проводиться количественное определение численности генов бактерий и грибов, а также соотношений между этими группами. Индикаторами фитосанитарной функции почвы могут выступать показатели численности копий генов фитопатогенов и их антагонистов.

Другим аспектом развития почвенной биологии служит оптимизация существующих и создание новых биотехнологий. Управление почвенным микробиомом является одним из перспективных путей повышения почвенного плодородия и качества сельскохозяйственной продукции в рамках рационального и экологически безопасного земледелия. Стратегии управления микробными сообществами почвы для всех перечисленных целей можно разделить на два основных подхода. Первый – это изменение почвенных условий с целью регуляции биомассы, разнообразия и активности тех или иных групп микроорганизмов. Прежде всего, к таким условиям относится изменение влажности и степени аэрации почвы, pH, доступности и разнообразия питательных веществ. Такая регуляция может осуществляться при помощи различных агротехнологических приемов: механической обработки почвы, внесения органических и минеральных удобрений, смены систем землепользования и диверсификации севооборотов. Второй подход заключается в направленном внесении в почву микроорганизмов, способных активно осуществлять или стимулировать определенные процессы, например, питание и рост растений, фиксацию азота, растворение фосфатов или разложение ксенобиотиков. Этот подход выражается в раз-

работке различных биоудобрений, или микробных инокулянтов – препаратов, состоящих из одного или нескольких штаммов микроорганизмов, в том числе полученных методом селекции, способных осуществлять требуемые процессы.

Для разработки действенных микробиологических препаратов и стратегии использования сельскохозяйственных приемов требуется интеграция агробιοтехнологий и современных концепций микробной экологии с применением молекулярно-генетических методов исследования почвенных микробных сообществ. Должны быть детально изучены вопросы выживаемости привнесенных микроорганизмов в почвенных условиях и их взаимоотношения с нативным почвенным микробиомом. Помимо известных почвенных обитателей (бактерии, грибы, археи), на микробное сообщество и микробные инокулянты существенно влияют почвенные простейшие, микрофауна и даже вирусы. Для оценки межтаксонных взаимодействий микробных инокулянтов с «аборигенными» почвенными организмами и их выживаемости в почве необходимо использовать количественную ПЦР в реальном времени, метабаркодинг и метагеномный анализ. Чтобы отслеживать способность микробных инокулянтов колонизировать корни растений, предлагается также применять микробиологические методы визуализации клеток. Наконец, микробные препараты должны включать не только чистые культуры отдельных штаммов, а целые консорциумы из разных групп микроорганизмов. Примером могут служить микробные препараты Soil-Life™ (ActivFert) и Nutri-Life Platform® (Nutri-Tech Solutions®), которые включают в себя *Lactobacillus*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Streptomyces*, фотосинтезирующие бактерии, а также штаммы дрожжей, *Trichoderma* и арбускулярно-микоризных грибов *Glomeromycota*, благодаря которым основные сельскохозяйственные культуры лучше поглощают фосфор и дают существенно больший урожай, чем немикоризованные растения. В качестве биоудобрений широко используют также и свободноживущие сапротрофные грибы. Например, представители рода *Trichoderma* являются эффективными агентами биоконтроля и подавляют рост таких фитопатогенов, как *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus* и *Sclerotium*. Такое подавление роста обусловлено комплексом механизмов: способностью *Trichoderma* продуцировать антибиотические соединения, сидерофоры, регуляторы роста и развития растений (ауксины, гиббереллины, цитокинины и др.). Экологичность (т.е. отсутствие ощутимого вреда окружающей среде) биоудобрений и биопрепаратов способствует их активному внедрению в практику сельского хозяйства.

Отдельно стоит упомянуть грибов эндофитов, играющих важную роль в защите растения-хозяина от инфекционных болезней и стимулирующих рост сельскохозяйственных культур. Эндофитные грибы получают питание и защиту за счет колонизации внутренних тканей растения. Эти симбиотические от-

ношения помогают растению-хозяину, улучшить общее состояние ризостомы, снизить чувствительность к стрессам окружающей среды. Пока эндофитные грибы мало используются в сельском хозяйстве, однако это должно произойти в ближайшей перспективе.

Другим направлением использования почвенных микроорганизмов в биотехнологии является их применение в целях ремедиации загрязненных почв. Известен высокий потенциал биоремедиации почвы в случае разлива нефтепродуктов, а также загрязнения окружающей среды ксенобиотиками. Так, в почвах, загрязненных нефтью, выявлено формирование специфического комплекса бактерий, в котором преобладали представители *Actinobacteria*, а также архей, среди которых доминировали представители *Thaumarchaeota* и *Crenarchaeota*. Определены метаболически активные в отношении деструкции нефтепродуктов представители почвенного микробного комплекса. Выявлена высокая самоочищающая способность разных типов почв от нефтяных загрязнений. В арктических регионах России, где теплый период года непродолжителен, процессы биodeградации нефти не успевают развиться в полной мере. В этом случае целесообразно обогащение почвы бактериями, деградирующими целевые классы нефтяных углеводородов. Перед использованием бактериальных препаратов для биоремедиации почв необходимы предварительные исследования воздействия биопрепарата на определенный тип нефтяного загрязнения для конкретных почвенно-климатических условий.

Появляется все больший объем информации о микроорганизмах, участвующих в восстановлении почвы при загрязнении ее тяжелыми металлами и радионуклидами. В частности, многие грибы могут выживать и развиваться в присутствии токсичных металлов, имея специфические, присущие только им биохимические, физиологические и/или генетические адаптации, включая морфологические изменения. Такие грибы могут связывать тяжелые металлы в нетоксичные соединения при помощи выделения специфических органических кислот, сидерофоров и внеклеточных белков. Биоремедиация почв, загрязненных тяжелым металлами, постепенно становится стандартной практикой, поскольку она более экологична и экономически эффективна (особенно при низких концентрациях металлов). В этом отношении особого внимания заслуживает применение комплексных, бактогумусовых препаратов, демонстрирующих возрастающую эффективность на обедненных почвах с низким содержанием органического вещества.

В контексте глобального изменения климата большое внимание привлекает роль почвы как источника или, наоборот, поглотителя парниковых газов. Микроорганизмы способны как разлагать органическое вещество почвы с высвобождением значительных объемов парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O), так и

закреплять в почве углерод в виде трудноминерализуемых веществ (секвестрация углерода). Важным направлением исследований является управляемый сдвиг баланса этих микробиологических процессов в сторону уменьшения эмиссии парниковых газов и увеличения накопления углерода и азота в почве. Таким образом, в задачи почвенной микробиологии входит разработка природоподобных агробиотехнологий, формирующих такой почвенный микробиом, который обеспечивает интенсивный сток углерода в почву и его эффективного закрепления с минимальным риском немедленного возврата в атмосферу.

Изучение микробной трансформации органического вещества в почвенных агрегатах, процессов образования и поглощения газов в результате специфики распределения и функционирования аэробных и анаэробных микроорганизмов внутри агрегатов, послужило основой для разработки технологий очистки воздуха от токсичных газообразных метаболитов в замкнутых экосистемах (обитаемых космических аппаратах), подземных коммуникациях и производственных помещениях. Достижения в области изучения характера распределения микроорганизмов и проявление их активности в тонкодисперсных средах, капиллярах и слоистых конструкциях служит научной основой для развития вертикального земледелия в городских условиях и акваземледелия (под водой) в приморских районах. Успешное развитие в почвенной биологии методов обнаружения и изучения микроорганизмов экстремальных местообитаний (вечная мерзлота, антарктические грунты, осадок высокотемпературных гейзеров и др.) служит теоретической основой развития космобиологии, путей поиска проявлений внеземной жизни на космических объектах.

Таким образом, почвенная биология на современном этапе является важным направлением науки, охватывающим самый широкий круг вопросов теоретического и практического почвоведения, экологии, рационального природопользования, биотехнологии, ремедиации почв, а также изучения, сохранения и поддержания биоразнообразия.

УДК 631.48

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ: ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ

**Чуков С.Н.¹, Перминова И.В.², Заварзина А.Г.², Абакумов Е.В.¹,
Холодов В.А.⁴, Лодыгин Е.Д.³**

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

³ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

⁴ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

Роль органического вещества (ОВ) почв как крупнейшего резервуара углерода в биосфере трудно переоценить. Оно играет важнейшую роль в процессах сохранения питательных и энергетических ресурсов в биосфере, выполняет большой спектр экологических функций и услуг в наземных экосистемах. В то же время, под антропогенным воздействием, происходят дестабилизация и минерализация ОВ почв. Дегумификация почв естественных биогеоценозов и, в особенности, агроэкосистем является первым шагом к опустыниванию ландшафтов и представляет собой важнейший вызов современному сельскому хозяйству. Исследование антропогенной эволюции гумусовых веществ (ГВ), явления прогрессирующей дегумактивации и относительного накопления инертного гумуса и «гумусового угля» в почвах агроценозов имеют большое значение для оценки роли ОВ почв в плодородии почв.

В почве, где пересекаются большой геологический и малый биологический круговороты, пути миграции макро- и микроэлементов, особенно велико значение важнейшего долговременного (стабилизированного) пула ОВ почв – гумуса и составляющих его соединений – гумусовых веществ (ГВ). Они работают и как геохимический барьер и как медиатор межфазных взаимодействий, формируют и стабилизируют почвенную структуру и поровое пространство почвы, уникальны своей биологической и физиологической активностью. Недаром В. И. Вернадский в своем учении о сферах Земли предлагал среди прочих выделить гумосферу, как область распространения гуминовых веществ. Однако, несмотря на большое значение ГВ, механизм их формирования и стабилизации до сих пор являются дискуссионным. Нет консенсуса о том, что именно называть ГВ – соединения, получаемые в результате щелочной экстракции (операционное определение); соединения, образующиеся в результате процессов свободнорадикальной конденсации – вторичного синтеза (по Stevenson, 1994); соединения, образующиеся при разложении и трансформации органических остатков и не имеющие аналогов в живых организмах (по Орлову, 1990).

Согласно современному определению IHSS, ГВ рассматриваются как гетерогенная полидисперсная совокупность соединений, образующихся при разложении и трансформации органических остатков (гумификации) (www.humic-substances.org). Принимая во внимание, что гумификация представляет собой катаболический процесс распада биомассы, тогда как фотосинтез – анаболический процесс синтеза биомассы, то гуминовые вещества можно рассматривать как экосистемный метаболит (Лукина и др., 2016). При этом в гумификацию вовлечено 20 Гт Сорг в год, что делает данный процесс вторым по величине после фотосинтеза (60 Гт Сорг в год) (Hedges and Oades, 1997).

Разработке определения ГВ как сложной супрамолекулярной системы (гуминовой системы, ГС) в контексте нового направления химической науки – химии сложных систем - посвящен новый проект Международного союза чистой и прикладной химии (IUPAC) под названием «Conceptualization of definition and classification of humic substances» (Разработка концепций определения и классификации гуминовых веществ» (<https://iupac.org/project/2021-032-3-600>), начало которому было дано в январе 2022 г. В рабочую группу проекта входят 20 ведущих мировых ученых в области изучения гуминовых веществ, включая и часть авторского коллектива данного доклада, а именно, И.В. Перминова (руководитель проекта), С.Н. Чуков и А.Г. Заварзина – участники рабочей группы по проекту. Для достижения целей проекта планируется, во-первых, изучить современные концепции химии сложных систем; во-вторых, подготовить обзор современной литературы, чтобы определить общие и уникальные молекулярные особенности, присущие гуминовым системам; в-третьих, изучить существующие методы классификации гуминовых систем; в-четвертых, сделать обзор современных методологий, используемых для анализа гуминовых систем, в-пятых, обобщить существующие способы создания количественных дескрипторов структуры гуминовых систем. На основании полученных знаний будут предложены концепции химического определения и классификации гуминовых веществ и рекомендованы наилучшие аналитические методологии для их исследования.

С самого начала изучения ГВ большое количество вопросов вызывает нативность препаратов, выделяемых из различных объектов щелочной экстракцией, и их репрезентативность по отношению к природному органическому веществу.

Нет консенсуса о молекулярной структуре, размере молекул и молекулярной устойчивости ГВ почв. Благодаря способности ГВ к набуханию и удержанию за счет нековалентных связей низкомолекулярных соединений (аминокислот и пр.) возможно присутствие неспецифических веществ в препаратах ГВ.

Необходимо дальнейшее совершенствование методик экстракции и очистки препаратов ГВ с целью повышения их аналитической и экологической репрезентативности. Это позволит подойти к созданию гумотеки почв России и других стран Мира. Референс-базы данных и препаратов такого типа крайне важны для развития экологической метрологии, стандартизации и сертификации исследований в области зеленой химии и гуминовых веществ. В связи с этим крайне актуальным является развитие и наполнение базы проб ГВ зональных/фациальных и антропогенно-измененных почв России и основных биомов суши всего Земного шара.

Важной задачей является дальнейшее развитие как химических, так и физических методов фракционирования ОВ. Развитие новых подходов, основанных на гранулометрических, денситометрических и сочетании этих методов особенно ценно в исследовании процессов разложения и частичной стабилизации растительных остатков в почве, процессов образования неспецифической части почвенного гумуса и их взаимодействий с минеральной частью почвы. Однако за более чем тридцатилетний период развития этих методов не удалось добиться решения ряда проблем, тормозящих их широкое использование. Во-первых, крайне трудно стабилизировать воздействие ультразвука на почвенную суспензию, которое зависит не только от градуировки самого излучателя, но и от многих свойств самой почвы (гранулометрического состава и др.), концентрации компонентов суспензии и др. Во-вторых, дальнейшие процедуры гранулометрического и денситометрического фракционирования не всегда позволяют добиться стабильного выделения фракций по этим параметрам. Все это вкупе с недостаточной стандартизацией методики не позволяет добиться достаточно стабильных результатов. В-третьих, при отмывке фракций от тяжелых жидкостей, теряется часть органического вещества. В целом сейчас перспективнее выглядит гранулометрическое фракционирование – разрушение почвенной массы в воде до микроагрегатов с последующим разделением на ситах до 50 мкм включительно. Этот подход позволяет отказаться от тяжелых жидкостей, которые ингибируют большинство биологических процессов, что открывает перспективы изучения биологических показателей размерных фракций (ферментативную активность, разнообразие микробного сообщества и т.п.). При этом роль полидисперсности почв в формировании лабильного и стабилизированного пулов органического вещества требует более тщательной оценки в ближайшем будущем.

Важной задачей является дальнейшая разработка и применение высокочувствительных и высокоселективных физико-химических методов изучения ОВ почв.

В последнее время весьма перспективным методом изучения ОВ почв является термическое фракционирование, позволяющее разделять ОВ по устойчивости к термической деструкции. Он исходит из предположения, что более доступные микроорганизмам молекулы мобилизуются при более низких температурах. Например, при нагревании до 300 °С улетучиваются только вещества с относительно низкой молекулярной массой, а при более высоких происходит крекинг полимеров и возможно высвобождение фрагментов крупных молекул. Существует два основных подхода к термическому изучению ОВ. В первом почву нагревают и регистрируют термические эффекты [термогравиметрический анализ (ТГА); дифференциальный термический анализ (ДТА), дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК)]. Во втором при нагревании почвы определяют состав выделившихся газов (двухстадийных пиролиз с газовой хроматографическим окончанием и масс-детекцией). Кроме того, часто применяют сочетание обоих подходов. Основной проблемой этой группы методов является точное установление температурной границы между термолабильным и термостабильным ОВ и соотнесение термических фракций с биодоступностью ОВ. Основные достоинства термических методов – возможность анализа образца без предварительного фракционирования, достаточная экспрессность и высокая информативность. С помощью применения аналитического двухстадийного пиролиза с хромато-масс-спектрометрией был достигнут существенный прогресс в изучении гуминовых веществ непосредственно почв (*in situ*). Показана идентичность результатов двухстадийного пиролиза почвы и выделенных из нее гуминовых кислот. (Холодов и др., 2018).

Для изучения структуры ОВ почв активно развиваются спектральные методы анализа, в том числе неразрушающие, позволяющие изучать ОВ без предварительной экстракции препаратов. Прежде всего, это спектроскопия ЯМР высокого разрешения, которая, благодаря большому разнообразию экспериментальных методик, используемых для решения проблем органической химии, структурной биологии, ставит ее в особое положение по отношению к другим спектральным методам. Использование двумерного (по углероду и водороду), трехмерного ЯМР открывают новые возможности в изучении особенностей структуры гуминовых веществ в разных природных сферах (Чуков и др., 2018).

Проблема стабильных и переходных свободных радикалов во фракциях ГВ может быть исследована методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Разложение органического вещества в природной среде очень сложно и связано с различными свободнорадикальными процессами. Образовавшаяся макромолекулярная матрица ГВ стабилизирует в основном свободные радикалы семихинонового и полиароматического типов. Последний тип радикалов характерен для процессов углефикации и карбонизации. Структурные превраще-

ния при старении ГВ приводят к уменьшению числа алифатических и карбоксильных групп и постепенному увеличению полифенольных и семихиноновых звеньев. Равновесие между полифенолами и хинонами дает полухиноновые интермедиаты, которые стабилизируются в гуминовой макромолекулярной матрице. Дальнейшие процессы старения увеличивают количество полиароматических звеньев, что приводит к делокализации неспаренных электронов от кислорода (в случае семихиноновых звеньев) к полиароматической системе. Хорошо известно, что природа и концентрация стабильных радикалов в природных биогенных материалах зависят от различных окислительно-восстановительных, кислотно-основных и комплексообразующих реакций в окружающей среде. Перспектива использования ЭПР в систематических исследованиях важных процессов в окружающей среде хорошо известна; например, компостирование отходов, взаимодействие природных полифенолов с ионами тяжелых металлов и разложение лигнинов. Благодаря тому, что свободные радикалы, стабилизированные в макромолекулярных матрицах ГВ, могут сохраняться в течение тысяч лет (например, в торфах), можно использовать ЭПР-спектроскопию для интерпретации палеоэкологических условий. С другой стороны, стабильный изотопный состав углерода первичных растений-торфообразователей хорошо сохраняется в болотных условиях и может нести ценную палеоклиматическую информацию, особенно об изменении температуры в периоды вегетации. Использование метода ЭПР позволяет изучать участие свободных радикалов в процессах полимеризации и фрагментарного обновления ГВ, а также в проявлении многих экологически значимых функциональных параметров (ионный обмен, физиологическая и биопротекторная активность и др.).

Несмотря на существенные достижения вышеизложенных методов для понимания палеопроцессов, они не могут решить задачу определения полного молекулярного состава ГВ, которая необходима для целей экометаболомики, направленной на молекулярную диагностику современной трансформации ОВ под воздействием климатических и антропогенных факторов. Оптимальным способом решения указанной проблемы является применение масс-спектрометрии ионно-циклотронного резонанса с преобразованием Фурье (МС ИЦР ПФ), обладающей беспрецедентно высоким разрешением. Это позволяет определять в составе одного образца ГВ сотни тысяч стехиометрий состава $C_xH_yO_zN_n$, проекция которых на двумерную диаграмму Ван Кревелена в координатах Н/С от О/С позволяет визуализировать химическое пространство ГС. Весьма актуальной задачей является разработка высокоэффективных алгоритмов анализа и свертки больших данных, получаемых на основе информационно насыщенных масс спектров ИЦР ПФ для ГВ. Данное направление представляет

собой очень «горячую» тему и является условием для прогресса в области понимания молекулярной организации ГВ, о чем говорится в отчете IUPAC по проекту, посвященному созданию химической библиотеки ГС (Zherebker et al., 2020). Это связано с тем, что благодаря применению МС ИЦР ПФ впервые стал очевиден колоссальный вклад низкомолекулярных компонентов в молекулярный состав ГВ. Именно они составляют «численное большинство (по числу молекул) в составе ГВ», в то время как немногочисленные, но тяжелые макромолекулярные компоненты ГВ вносят наиболее весомый вклад в массу ГВ. Следовательно, молекулярную систему ГВ можно представить как супрамолекулярный ассоциат, каркас которого представлен небольшим количеством макромолекулярных компонентов, окруженных средне- и низкомолекулярными компонентами, превосходящих их по количеству в миллионы и миллиарды раз. Однако из-за эффекта ионного подавления, который характерен для основного метода ионизации ГВ – электрораспыления (ЭР), когда маленькие легко ионизируемые молекулы препятствуют ионизации трудно ионизируемых больших молекул, количественные оценки числа низко- и высокомолекулярных компонентов методом ЭР МС ИЦР ПФ затруднены. Тем самым, для адекватной характеристики молекулярного состава и организации ГВ необходимо применение взаимодополняющих методов анализа и способов обработки данных, адекватных сложности этих природных систем.

Большие вопросы вызывает проблема гумификации, роль окислительных свободнорадикальных реакций в формировании макромолекулярной структуры компонентов ОВ и ГВ почв. Это необходимо для установления механизмов стабилизации ГВ в почвах. Перспективным подходом здесь может быть моделирование взаимодействия ГВ и их предшественников с внеклеточными ферментами – фенолоксидазами и пероксидазами, запускающими свободнорадикальные реакции, приводящие к образованию или разрыву ковалентных связей в фенольных субстратах. Удалось доказать (Zavarzina et al., 2019), что ГК почв содержат истинно макромолекулярные компоненты, что не согласуется с теорией о сугубо супрамолекулярной природе гумуса (Piccolo, 2000). Макрокомпоненты не устойчивы к действию окислительных ферментов вне связи с минеральной матрицей, что согласуется с современными представлениями о ведущей роли органоминеральных взаимодействий в стабилизации ОВ почв. В результате моделирования гетерофазных конденсационных процессов гумификации показано, что образование полимеров в присутствии биокатализатора – лакказы происходит при высоких концентрациях предшественников, и в стационарных (застойных) условиях (Zavarzina, 2011). Показано, что в динамическом проточном режиме при низких концентрациях предшественников в присут-

ствии фермента образуются низкомолекулярные соединения типа фульвокислот (Заварзина и др., 2022).

Важной экологической функцией ОВ почв является его участие в депонировании соединений углерода и других парниковых газов, что имеет глобальный биосферный характер, благодаря гигантским размерам углеродного пула почвы (от 1500 до 3000 Гт). В этом плане недостаточно изучено ОВ почв криолитозоны и болотных биомов Евразии. Многолетнемерзлые породы или вечная мерзлота являются важнейшим депонирующим и стабилизирующим агентом в отношении углерода органического происхождения на территории России. Криогенез как фактор литификации и стабилизации органического углерода приводит к формированию гигантских запасов органического вещества в пределах криолитозоны, которая занимает до 60% территории России и до 25% территории всей суши Земли. До сих пор для оценки запасов углерода в почвах криолитозоны Евразии характерны гигантские неопределенности (до 25%), что связано с сильной кластеризацией полевых оценок, используемых для экстраполяционных оценок и моделирования запасов ОВ почв. Крайне необходимо увеличение покрытия территории Сибири первичными исследованиями содержания, состава и функциональной организации ОВ почв. Это приведет к увеличению точности оценок запасов гумуса и других форм органического углерода в педосфере Евразии. Различные типы водоемов интересны как потенциальные транзитные резервуары гидрофильных и ряда гидрофобных веществ органической природы. Однако вопрос об особенностях процесса гумификации в субквальных условиях до сих пор является не до конца решенным.

Еще одной проблемой является изучение эволюционной динамики развития гумосферы в позднем плейстоцене и голоцене. Следует отметить сдвиги границ аккумулятивно-гумусовых-карбонатных почв в изменяющемся климате. Проблема голоценовых сдвигов пространственных границ выщелачивания и вторичного педогенного окарбонирования в лесостепи и степи требует дальнейшего изучения, так же, как и вертикальный режим динамики стабилизированных гуминовых кислот, связанных с катионами кальция. Что касается динамики накопления ОВ почв, то она имеет разнонаправленные тренды. С одной стороны, происходит прогрессирующее накопление ОВ в почвах и биоседементах различного происхождения и последующее переотложение осадков, содержащих углерод органических соединений в составе каустобиолитов. Масштабы этого явления оценены с определенной точностью, однако не выявлены механизмы молекулярной стабилизации органического вещества, не до конца ясна природа органоминеральных взаимодействий. В частности, слабо изучен кероген как стабильное ОВ реликтового происхождения, которое находится в составе минеральных и органоминеральных почвообразующих пород. Этот компо-

нент наследуется почвами и несет определенную информацию о возрасте почвообразующих пород и о типах органоминеральных взаимодействий в различных типах геохимических обстановок.

В настоящее время накоплены огромные массивы данных о весовом содержании углерода органических соединений в почвах различных природных зон. В большинстве случаев эти данные получены на основании определения бихроматной окисляемости органического вещества. Тем не менее, в настоящее время широко используются методы сухого сжигания. Результаты определения содержания органического вещества этим способом во многом отличаются от данных, основанных на бихроматном способе и требуют корректировки. В связи с этим, необходимо создание баз данных об уровнях содержания органического вещества и создание номограмм пересчета данных, полученных различными методами для уточнения интерполяций в различных модельных оценках содержания и запасов органического углерода в различных почвах.

Карбоновые полигоны, карбоновые фермы и углеродные компенсации – еще один важнейший вызов для современного отечественного почвоведения. Точная, верифицированная и метрологически-обоснованная оценка всех компонентов углеродного цикла на референсных площадках – карбоновых полигонах необходима как для обоснования и защиты зеленого имиджа РФ, так и для расчета и углеродных компенсаций и развития рынка углеродных единиц в изменяющихся климатических и геополитических условиях.

УДК 631.48

МЕТОДОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА УЧЕТА БАЛАНСА УГЛЕРОДА В ПОЧВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ И АГРОЛЕСОКОМПЛЕКСАХ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Иванов А.Л.¹, Кулик К.Н.², Столбовой В.С.¹, Хитров Н.Б.¹, Конюшков Д.Е.¹

¹ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

² ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград

Россия столкнулась с беспрецедентными вызовами природно-климатического, социально-экономического, геополитического свойства. Понадобятся экстремальные меры адаптации, преодоления, в том числе существенные корректировки акцентов и целевых индикаторов в доктринальных и программных документах, подготовленных для реализации подписанных страной соглашений и международных конвенций, связанных с глобальным климатом и устойчивым развитием. Особо важно, что в Поручениях Президента Российской Федерации по итогам Санкт-Петербургского экономического форума

почвенные экосистемы и технологии использования их потенциала для управления балансом углерода обозначены в числе приоритетов, а Декларация, принятая на саммите, именуется не иначе как «Декларация Глазго по лесам и землепользованию», и все шесть пунктов ее постановляющей части содержат упоминания о землепользовании, деградации земель и т.д.

Наиболее весомым аргументом в вопросе о месте и роли России является то обстоятельство, что, обладая 12% территории суши, выбросы CO₂ не превышают 8%, при этом расчеты не учитывают вклад почвенных экосистем. Между тем, преобладание холодного гумидного климата в РФ обеспечило повышенные запасы органического углерода в почвах. Этот показатель почти в два раза выше, чем в странах ЕС, США, Австралии и др. Почвы РФ содержат в шесть раз больше углерода, чем растительность! Учет вклада почв в баланс углерода обязателен. Суммарный выброс в России двуокиси углерода или CO₂-эквивалентов оценивается в 2.5 млрд т, что в пересчете на углерод составляет порядка 681 млн т С. Резерв секвестрации в почвах РФ около 3.6 млрд т С, или более 13 млрд CO₂-экв., что составляет более 19 суммарных годовых выбросов парниковых газов.

Дегумификация является следствием минерализации гумуса за счет увеличения аэрации почв в результате обработок. Устранение избыточной аэрации и увеличение поступления органического вещества приводят к новому равновесному состоянию. В бореальных лесах минимальна азотфиксация, поэтому баланс достигается в течение сезона. Факторами, влияющими на запасы углерода, являются обработка (85%) и эрозия почв (15%). Исторически почвы РФ потеряли около 3.6 млрд т углерода из верхнего метрового слоя. Возвращение этого углерода в почву является резервом инициативы «четыре промилле» для РФ. За 30 лет сельскохозяйственные почвы потеряли около 16% запасов гумуса, в то время как в западных странах показатель достигает 50% и более.

Почвенный покров России имеет ряд особенностей: 74% в зоне «мерзлотных» (<-4.7 °С), 80% «бореальных» почв (<0 °С) – с мощными оторфованными подстилками и пониженной интенсивностью биологических процессов и 80% поверхностного стока представлено фрагментированным детритом. Потепление увеличит мощность активного слоя в мерзлотных областях, инициирует торфообразование, повышение увлажнения стимулирует развитие ризосферы и образование гумуса в южных регионах, а в целом почвы России станут стоком атмосферного углерода.

Окончательно понятно, что курс на импортозамещение, как ответная мера на санкции коллективного Запада (окончательно разрушившие либертарианский миф о международном разделении труда и кооперации), был шагом в вер-

ном направлении – создание стратегических суверенных позиций альтернативой глобальным процессам.

В новых кризисных условиях картина мирового рынка продовольствия будет существенно трансформироваться, несмотря на сдержанный оптимизм представителей ФАО. Вполне возможно сокращение ассортимента культур до стратегического набора. Проблема биотоплива теряет актуальность. И наоборот – обеспечение собственной продовольственной безопасности становится безусловной доминантой. Товарное продовольствие имеет все шансы стать основным конвертируемым активом и альтернативой даже энергоносителям, обеспечивая вес на международном уровне и стабильность внутри страны. В этих условиях всякое посягательство на земли сельскохозяйственного назначения России, перевод их в другие категории, предложения об отмене категорий земель, составляющих суть ряда предложений органов власти, невозможно. Лишней земли для производства продовольствия в России нет! Продовольственная безопасность и поддержание экспорта сельскохозяйственной продукции, хотя бы на нынешнем уровне, будут обеспечивать те же 130 млн га пашни ниже 60-й параллели, из которых примерно 40 млн га временно выведено из активного оборота. Расчеты на то, что потепление климата расширит площади сельскохозяйственных угодий на Севере, иллюзорны, поскольку здесь прежде следует преодолеть негативные демографические тренды и остановить социальное опустынивание, в первую очередь в Нечерноземной зоне РФ. Наоборот, аридизация южных регионов, в том числе традиционных «житниц», усилится, обострив проблемы социума, составляющего более 30 млн чел.

Статья 3.4 Киото Протокола в качестве одного из инструментов снижения концентрации парниковых газов в атмосфере предусматривает возможность изменения землепользования и лесного хозяйства, технологии сельскохозяйственного производства для накопления углерода в почвах, например, переход на гумусосберегающие севообороты, сокращение механических обработок и др. Киото Протокол в своей основе рассматривает также цикл углерода, который включает резервуары и потоки углерода, т.е. увеличение продуктивности также является инструментом смягчения климатических изменений. Однако перечень учета лесов категорией «Киото лесов или углеродных лесов» с особым режимом лесопользования включает норму безвозвратного лесопользования. Это связано с тем, что биомасса Киото лесов становится оплаченной мировым сообществом как вклад РФ в смягчение изменений климата. В перспективе, в случае ввода таких земель в сельскохозяйственный оборот, этот вклад должен быть компенсирован на рынке углерода. Поэтому РФ категорически следует противостоять конвертированию неиспользованных земель сельскохозяйственного назначения в леса Киото. Следует считать их категорией сельскохозяйственных угодий и включить в вид

землепользования «многолетние насаждения», в том числе для производства технической биомассы. Такой вариант входит в число разрешенных Киото Протоколом, возвращение их в производство продовольствия не требует согласований. Это гарантирует РФ возможное преимущество в условиях нарастания продовольственного кризиса в связи с аридизацией климата и увеличением численности населения земли.

Согласно подходам, декларируемым Рослесхозом, все леса РФ относятся к управляемым, и, таким образом, отмечаемый естественный рост лесов в результате потепления климата должен рассматриваться как вклад страны в смягчение климатических изменений. Так, согласно Национальному кадастру антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (Национальный кадастр), в 2018 г. в секторе ЗИЗЛХ наблюдалось поглощение парниковых газов в размере 590.6 млн т CO₂-экв., что снизило баланс выбросов и поглощения парниковых газов в РФ на 26.6%.

Общие запасы углерода в лесной биомассе РФ составляют около 33 млрд т С, т.е. выбросы составляют около 2% от запасов в биомассе лесов. Для компенсации выбросов необходимо, чтобы леса РФ увеличивали биомассу именно на 2% ежегодно. Позиция Рослесхоза вошла в число главных инструментов выполнения обязательств РФ по смягчению изменений климата на Парижском совещании, однако она практически не реализована. Такой виртуальный вклад РФ в смягчение изменений мировым сообществом принят не был, а Национальная система учета выбросов парниковых газов экосистемами (лес, степь, тундра, водные пространства и т.д.) пребывает в стадии доктринального обсуждения.

Последнее серьезное совещание по вопросу Национальной системы учета баланса и эмиссии парниковых газов было проведено вице-премьером В.В. Абрамченко в ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» 16 ноября 2021 г. Подписан соответствующий протокол с поручениями для ФОИВов. В итоге одобрена методология, которая гармонизирована с методологическими подходами, изложенными в Руководствах ЕС, IPCC, 2006 с дополнениями и разъяснениями 2019 г., составленными экспертами международной панели по изменению климата. Российской Федерации при создании Национальной системы мониторинга баланса парниковых газов следует придерживаться второго и третьего уровня учета, обозначенных в документе IPCC. При работе на втором уровне применяются значения эталонных запасов углерода и/или коэффициентов изменения запасов, адаптированные к условиям конкретной страны и скорректированные на основе имеющейся в стране информации.

В России имеется более детальная информация о почвах, климате и наземном покрове, чем рекомендовано экспертами ИРСС. Могут быть использованы Почвенная карта РСФСР масштаба 1:2 500 000, Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (2013), Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации (2020), карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации М 1:2 500 000. В идеале должна быть создана система инвентаризации постоянных, статистически репрезентативных участков, включающая основные климатические регионы, таксоны почв, системы использования земель. В этом плане приказ Минобрнауки России от 5 февраля 2021 г. № 74 «О полигонах» весьма важен и своевременен, в том числе для реализации Национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г. (распоряжение Правительства РФ от 25.12.2019 г.).

Минобрнауки России, являясь крупнейшим землепользователем (более 1.3 млн га), может и должно быть ответственным за создание Федеральной мониторинговой сети методических полигонов либо полигонов смешанного назначения. Важным сейчас является экстренное принятие нормативных актов ФОИВами в части репрезентативности, размещения и типологии карбоновых полигонов, ферм и других вариаций тестовых площадок в Российской Федерации. Разработаны научно-обоснованные, собственные предложения по типологии полигонов с учетом аналитических обобщений мировой практики по целевым функциям и типам карбоновых ферм при различном землепользовании. Сеть карбоновых полигонов федерального уровня может быть создана на основе компилятивной стратификации климатических поясов, рекомендованных ИРСС (последнее обновление сентябрь 2021 г.), и разнообразия почвенного покрова Российской Федерации. Данная группировка и карта-схема представляется впервые.

Должен быть создан также блок оперативного, точного и низкочувствительного мониторинга и обновления всей базовой информации. Наиболее перспективно для этих целей использование дистанционных, спутниковых технологий. Отдельные блоки спутникового мониторинга базовых данных уже существуют, но нуждаются в доработке и развитии так же, как и методы спутникового мониторинга технологии интернета вещей, нейросетей и моделей, совмещенных с технологиями пространственного моделирования. Все методы и технологии должны сертифицироваться, тестироваться и развиваться.

Весьма важным и первостепенным является создание и утверждение новых, а также легитимизация существующих стандартов и методик аналитического обеспечения и необходимого минимума аппаратно-лабораторного комплекса. В ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» проведено такое

обобщение в части методик аналитического обеспечения и минимального физико-технического базиса.

По предварительным обобщениям количество методических полигонов третьего уровня Минобрнауки России должно быть порядка 50. Такая сеть может быть создана на основе существующей типологии организаций науки и высшего образования Министерства путем создания и соответствующего нормативно-правового сопровождения карбоновых методических полигонов на основе входящих в сферу его деятельности НИУ и ВУЗов (консорциумов). Отметим особо, что мониторинговую сеть полигонов на землях Федерального подчинения и закрепленных за ФОИВаами целесообразно и необходимо формировать с учетом и расширением функционала государственных бюджетных учреждений, входящих в их зону ответственности. Например, для Минсельхоза России это сеть региональных агрохимцентров и мелиоративных учреждений, для Минприроды России – сеть метеостанций и т.п.

УДК 631.48

ПОЧВЕННЫЕ КОЛЛЕКЦИИ КАК ОСНОВА ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Сухачева Е.Ю.¹, Апарин Б.Ф.¹, Иванова Е.А.²

¹ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербург

² ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

Естественно-научные коллекции (ботанические, зоологические, минералогические и др.) сыграли важную роль в становлении, развитии и популяризации различных направлений современной науки. Одним из ярких примеров таких коллекций являются почвенные коллекции В.В. Докучаева, которые способствовали быстрому становлению новой науки о почве и широкой популяризации почвоведения в России и за рубежом (Dokuchaev, Sibirtzeff, 1893; Апарин и др., 2021). Коллекции составили основу первого в мире почвенного музея, открытого в 1904 г. в Санкт-Петербурге, и стали материальным подтверждением теоретической концепции В.В. Докучаева о существовании разнообразия почв как особых природных тел.

К 70-м гг. XX в. вследствие критической ситуации с состоянием почвенных ресурсов, сложившейся в мире, перед почвоведением возникли новые вызовы. К этому времени практически был исчерпан резерв естественных почв для сельскохозяйственных целей. В результате антропогенного воздействия на месте естественных почв широкое распространение получили их антропоген-

ные формы, многие из которых не имеют аналогов в природе, а их экологические функции сильно трансформированы.

В связи с вышеизложенным принципиально изменилось назначение почвенных коллекций. Существенно возросло их значение как материальных носителей генетической памяти почв и биоразнообразия для решения актуальных проблем современности: сохранения почвенного разнообразия и плодородия почв, экологического мониторинга, поиска индикаторов глобального изменения климата и антропогенного воздействия, сохранения почвенных эталонов, создания Красной книги почв.

Коллекция почвенных монолитов и образцов Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева (Музей) в настоящее время насчитывает более 3 тыс. единиц, отобранных в России и других странах (Куба, Сирия, Египет, Болгария, Молдавия, Украина, Казахстан, Узбекистан и др.). Основу коллекции составляют почвенные монолиты (ПМ) – природные материальные объекты с ненарушенным строением, характеризующие почвенные индивидуумы в их типичных чертах и соотносимые с картографическими выделами. К старейшим по времени отбора относятся монолиты чернозема обыкновенного из Велико-Анадоли (1902 г.) и чернозема тучного из Тамбовской области, а также почвенные монолиты, взятые участниками экспедиций Переселенческого управления 1908–1911 гг. А. Райкиным, Н.И. Прохоровым, К.О. Никифоровым. Географическое разнообразие коллекций представлено почвами всех природных зон России. Среди них есть почвы из труднодоступных районов Арктики, Чукотки, Якутии, Дальнего Востока. Почвы из коллекций Музея сформированы на породах различных литологических типов, под разными видами сельскохозяйственных угодий. Коллекция характеризует большинство типов, выделенных в «Классификации и диагностике почв России» (КиДПР, 2004 г.).

На основе исследования хранящихся в фондах Музея монолитов и образцов почв в настоящее время формируется особая коллекция со статусом «Биоресурсная» (БРК). В эту коллекцию отобрано более 1 тыс. монолитов почв. Все они являются объемными с ненарушенным строением, большинство из них имеют точную географическую и временную привязку, для части монолитов есть детальное морфологическое описание и характеристика физико-химических свойств. Монолитам присвоен уникальный номер, они фотозадокументированы и внесены в Базу данных (БД) (рис. 1), содержащую информацию о месте, времени отбора, авторе монолита, классификационном положении почвы по разным классификационным системам («Классификация и диагностика почв СССР», КиДПР, WRB), о месте хранения в фондах Музея. Таким образом, БРК почвенных монолитов Музея полностью соответствует определению БРК, данному в документах Минобрнауки, в которых под биоресурсной

коллекцией понимается научно-систематизированное, документированное и гарантированно сохраняемое на долгосрочной основе собрание биологических объектов естественного и (или) искусственного происхождения, обладающее общим набором специфических характеристик, использующееся для проведения научных исследований, прикладных разработок и (или) образовательного процесса».

Описание монолита	Классификация	Провинция	Описание разреза	Фотография монолита	Фотография ландшафта	Карта	Сопроводительные файлы
№ монолита: 886	Индекс: 7.03	Авторский №	Почвообразующая порода	озерно-ледниковые отложения			
№ пленочного монолита: 0	Индекс: 6863	разрез 6-05					
Название почвы: Торфяно-подзол глеевый илловально-гумусовый	Рельеф	пониженная часть водораздела рек Свирь и Сегажы. Микрорельеф хорошо выражен и представлен кочками					
Авторское название почвы: Торфяно-подзол глееватый	Растительность	Хвойный лес. В первом ярусе сосна, ель, единично береза, подрост ели, рябины, березы. Черника, можжевельник, осока, сфагнун.					
Автор монолита: Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю.	Литература	Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина, Н.Н. Матинян, Е.Ю. Сухачева. Красная книга почв Ленинградской области. Отв. ред. Б.Ф. Апарин: СПб.: Агроплан, 2007г., - 320с., рус., англ. Раздел "Почвенные эталоны", стр. 276					
Дата отбора (г/мд/ч): 2005 / сентябрь / 10	Уник. №: 31						
Государство: Россия	Положение установлено						
Экономический район: Северо-Запад	№ ГПК						
Федеральный округ: Северо-Запад	Мониторинг почв: да, красная книга						
Область (Субъект Федерации): Ленинградская	Классификация почв						
Регион: Ленинградская область	Почвенные эталоны: да						
Район: Лодейнопольский	Координаты						
Положение: Никольский заповедник. Разрез заложен в районе 19 км по дороге Ковкеницы - Лодейное поле. В 500 м от дороги на юго-восток.	Е: 33°15'58,5"						
Дополнительное положение: 19 км по дороге Ковкеницы-Лодейное поле. Вправо от дороги 500-700 м перпендикулярно в лес. Ареал почв расположен в 1,8 км на северо-восток от лп.п. Ковкеницы	Н: 60°40'23,1"						
Наличие монолита: да	Монолит в файл						
Объектный фонд:	Заполнил: Сухачева Е.Ю.						

Рис. 1. Фрагмент Базы данных почвенных коллекций Музея.

Почвенные монолиты из БРК в процессе исследования были условно разделены в зависимости от назначения на три категории: «Классификация почв», «Почвенные эталоны и объекты Красной книги почв», «Почвенный мониторинг».

Проблема классификации почв занимает важное место в фундаментальном почвоведении и является предметом бесконечных дискуссий. Существенный вклад в разработку и усовершенствование «Классификации почв России» могут внести монолиты из БРК Музея, характеризующиеся большим природно-климатическим и генетическим разнообразием (Апарин, Герасимова и др., 2007).

Почвенные эталоны необходимы для решения как научных, так и практических задач. Почвенные эталоны – это почвы, широко распространенные в пределах определенной территории (область, зона, провинция и др.) и наиболее ярко и полно отражающие генетические особенности и факторы почвообразования определенных почвенных таксонов. Используя почвенные эталоны из

коллекции Музея, возможно проводить исследования изменений строения, состава, свойств, структуры микробиома естественных почв, параметров их биогеоценологических функций и экологического потенциала под влиянием антропогенного воздействия и изменения климата.

В результате глобального изменения климата и разных видов антропогенного воздействия в последние десятилетия возникла острая необходимость сохранения редких и исчезающих почв как условия обеспечения видового и популяционного разнообразия флоры и фауны, носителя памяти ландшафта и человеческой культуры, особой среды для эволюции живых организмов. В связи с этим важнейшей задачей пополнения БРК Музея является сбор и хранение монолитов редких и исчезающих почв России как объектов Красной книги (рис. 2).



Рис. 2. Почвенный монолит (подзол иллювиально-железистый) из коллекции ЦМП и фрагменты Красной книги почв Ленинградской области: стенка почвенного разреза (слева, в центре снизу), растительность – сосновый лес (в центре сверху); обложка Красной книги почв Ленинградской области (справа сверху); местоположение на карте объекта в Красной книге (справа снизу) (Апарин, Касаткина и др., 2007).

Формирование коллекции почвенных монолитов для целей «Почвенного мониторинга» необходимо и для исследования пространственно-временной изменчивости состава и свойств почв, степени их антропогенного загрязнения и деградации. БРК открывает возможность исследовать, сохранять и преумно-

жать сведения о почвах конкретной территории как «памяти ландшафта». Исследуя ПМ и сравнивая данные по ним с современными почвами того же района, можно увидеть все значимые изменения, происходившие в экосистемах.

К задачам почвенно-экологического мониторинга на основе БРК относятся:

– оценка динамики различных характеристик почв за определенный промежуток времени вследствие различных видов деградации (эрозия, дефляция, загрязнение тяжелыми металлами и техногенными радионуклидами) или изменения климатических показателей;

– оценка изменения микробиома почв;

– оценка влияния сельскохозяйственной нагрузки или других видов антропогенного воздействия на почвы.

В качестве примера почвенно-экологического мониторинга антропогенного влияния на природную среду приведены данные содержания техногенного Cs-137 в почвах Каменной степи (Воронежская область) (рис. 3). Исследовались образцы из монолитов, отобранных до первых ядерных испытаний, и современных почв. Техногенный радионуклид был обнаружен только в современных почвах (Апарин и др., 2017).

В Волгоградской области на основе коллекций Музея проводятся исследования гумусного состояния в почвах разных сроков отбора монолитов и образцов в трех типах экосистем (целинная степь, пахотные угодья и защитные лесонасаждения) (рис. 4). Цель работы – оценить величину эмиссии углерода органических соединений и его депонирования в почвах – один из важных факторов изменения климата.

В 2021 г. были начаты работы по дополнению информации о почвах из БРК данными метагеномного анализа. Для определения микробиома было выбрано пять объектов – типичные представители почвенного покрова таежной, лесостепной и степной зон России. Было определено точное местонахождение места отбора почвенных монолитов, повторно заложены новые почвенные разрезы, из которых отобраны образцы для проведения метагеномного анализа.

Первый этап молекулярно-генетического анализа состава микробиомов верхних горизонтов исследованных почв был проведен на основе метабаркодинга тотальной почвенной ДНК с определением таксономической структуры прокариотного сообщества посредством NGS-секвенирования гена 16S-rPHK. Выявлены представители 42 бактериальных и 2 архейных филумов, среди которых доминирующее положение занимали представители 10 филумов, в том числе девяти бактериальных: *Actinobacteria* (33.5%), *Proteobacteria* (28.4%), *Acidobacteria* (8.3%), *Verrucomicrobia* (7.7%), *Bacteroidetes* (4.2%), *Chloroflexi* (3.0%), *Gemmatimonadetes* (2.3%), *Firmicutes* (2.1%), *Planctomycetes* (2.0%); и

одного архейного – *Thaumarchaeota* (2.6%). Бактерии с неустановленным систематическим положением на уровне филума в среднем составляли 4% от состава почвенного микробиома, наибольшее их число обнаружено в дерново-подзолистых почвах Ленинградской области (до 8.0%) (рис. 5).

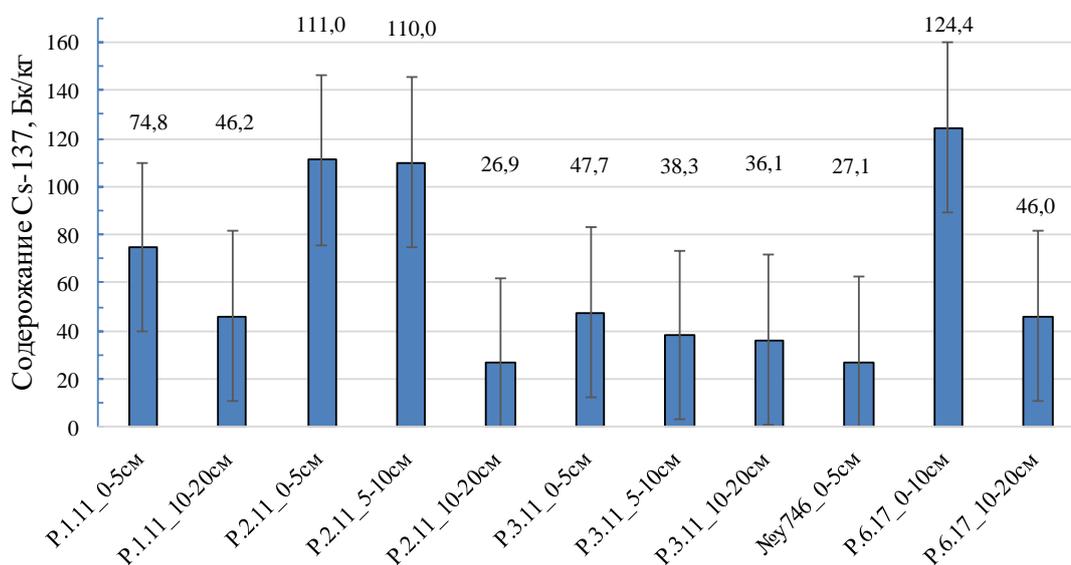


Рис. 3. Слева – фото монолита чернозема, отобранного Н.Н. Соколовым в Каменной степи в 1929 г.; справа – график содержания Cs-137 в верхних горизонтах современных почв Каменной степи.

Особенностью почвенных монолитов и образцов является сохранение в них биогенного потенциала (плодородия), независимо от сроков хранения. Исследования почвенного микробиома в образцах, отобранных из монолитов чернозема и подзолистой почвы, показало, что в них сохранилась ДНК почвенных микроорганизмов, при этом состав доминантного сообщества микробиома архивных образцов чернозема был схож с набором доминантных таксонов в его нативном аналоге (Ivanova et al., 2017).

Заключение. Почвенные монолиты являются своего рода «паспортом» генетического типа почв. Использование почвенных монолитов Музея позволило провести работу по верификации и совершенствованию КиДПР (2004 г.), выявить динамику кальция в степных и таежных почвах (Lapenis et al., 2008; Lawrence et al., 2005) и содержания естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенного ^{137}Cs в почвах разных регионов европейской территории России за долгосрочный период (Апарин и др., 2017; Mingareeva et al., 2022).



Содержание гумуса в почве восточной лесополосы (р. БП-4) Белопрудского полигона

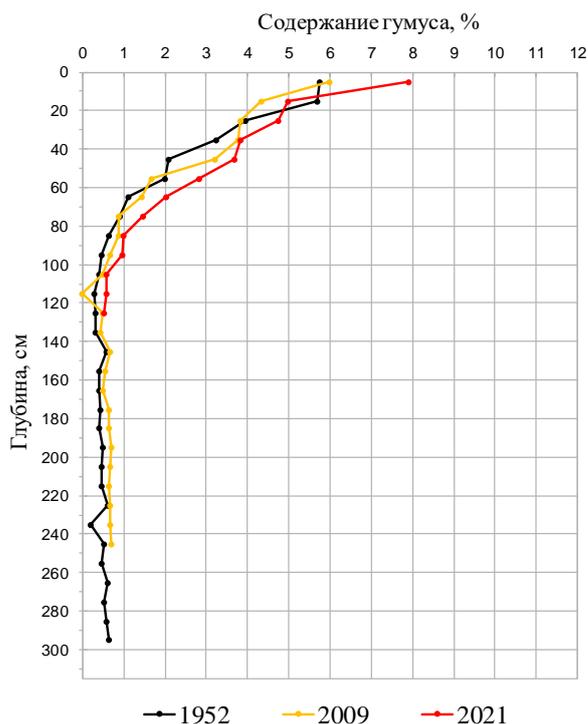


Рис. 4. Фото монолита чернозема из коллекции ЦМП (Волгоградская область) и график динамики содержания гумуса за 70 лет.

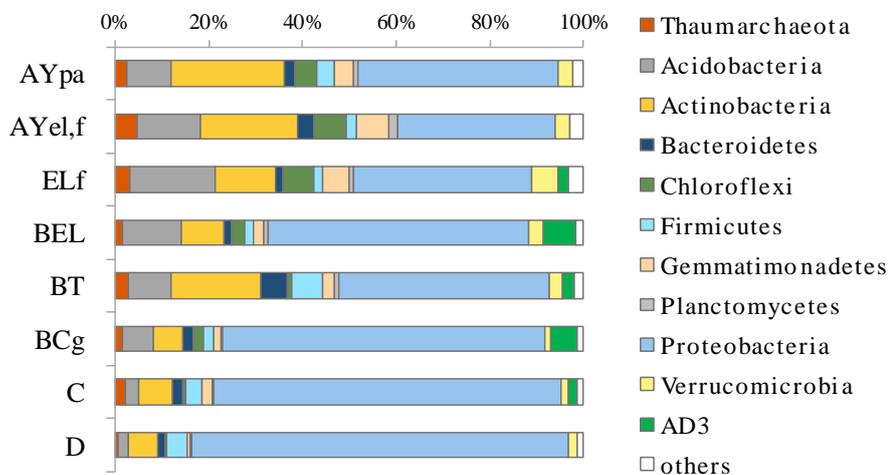


Рис. 5. Структура микробного (прокариотного) сообщества в дерново-подзолистой почве (А) на уровне филумов (Б) (Aparin et al., 2020).

БРК Музея открывает уникальную возможность для получения фоновых характеристик почв и их изменения во времени, а также использовать почвенный монолит в качестве репера для наиболее точного и полного выявления изменений, произошедших с почвой за определенный период. Создание региональных БРК необходимо для обеспечения информацией и документирования

объектов Единого государственного реестра почвенных ресурсов России, выделения и сохранения эталонов естественных типов почв, а также объектов Красной книги.

Комплексный пространственно-временной анализ характеристик почвенных монолитов и их современных аналогов, отобранных в тех же самых районах и местах, даст возможность установить наиболее информативные почвенные индикаторы глобальных изменений, разработать прогнозные эволюционные модели функционирования почв при различных сценариях изменения климата и антропогенной нагрузки на почвы.

Литература

Апарин, Б. Ф. Роль почвенных коллекций в развитии генетического почвоведения / Б. Ф. Апарин, Е. Ю. Сухачева, Е. В. Мингареева // Музей. – 2021. – № 12. – С. 12–22.

Верификация «Классификации и диагностики почв России» (2004 г.) по коллекции почвенных монолитов Центрального Музея почвоведения им. В.В. Докучаева / Б. Ф. Апарин, М. И. Герасимова, И. И. Лебедева, Е. Ю. Сухачева, В. Д. Тонконогов // Почвоведение. – 2007. – № 5. – С. 525–531.

Красная книга почв Ленинградской области / Б. Ф. Апарин, Г. А. Касаткина, Н. Н. Матинян, Е. Ю. Сухачева; отв. Ред. Б.Ф. Апарин. – СПб. : Аэроплан, 2007. – 320 с.

Содержание радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs) в черноземах Волгоградской области разных сроков отбора образцов / Б. Ф. Апарин, Е. В. Мингареева, Н. И. Санжарова, Е. Ю. Сухачева // Почвоведение. – 2017. – № 12. – С. 1457–1467.

Climate dependency of tree growth suppressed by acid deposition effects on soils in northwest russia / G. B. Lawrence, A. G. Lapenis, D. Berggren, B. F. Aparin, K. T. Smith, W. C. Shortle, S. W. Bailey, D. L. Varlyguin, B. Babikov // Environmental Science and Technology. – 2005. – Vol. 39, N 7. – P. 2004–2010.

Climatically driven loss of calcium in steppe soil as a sink for atmospheric carbon / A. G. Lapenis, M. Calef, G. B. Lawrence, S. W. Bailey, B. F. Aparin, A. I. Shiklomanov, N. A. Speranskaya, M. S. Torn // Global Biogeochemical Cycles. – 2008. – Vol. 22, N 2. – P. GB2010.

Content of radionuclides in soils of the Voronezh region / E. Mingareeva, B. Aparin, E. Sukhacheva, N. Sanzharova, M. Lazareva, V. Terleev, L. Akimov // Technological Advancements in Construction : «Lecture Notes in Civil Engineering». – Cham, 2022. – P. 1–12.

Dokuchaev, W. W. Short scientific review of prof. Dokoutschaeff's and his pupil's collection of soils, exposed in Chicago in the year 1893 / W. W. Dokuchaev, N. M. Sibirtzeff. – SPb., 1893.

Structure of microbial community in forest and anthropogenic changed soils of megalopolis (ST. Petersburg, Russia) / B. F. Aparin, E. Y. Sukhacheva, A. A. Kichko,

E. E. Andronov , Y. V. Valchenko // Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature. Collection of papers presented at VI International Symposium. Part of the Lecture Notes in Earth System Sciences book series (LNESS) : «Lecture Notes in Earth System Sciences». – Saint-Petersburg State University, 2020. – P. 395–416.

The preservation of microbial DNA in archived soils of various genetic types / E. A. Ivanova, I. O. Korvigo, E. L. Chirak , E. V. Pershina, N. S. Romaschenko, N. A. Provorov, E. E. Andronov, B. F. Aparin // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12, N 3. – P. e0173901.

УДК 631.48

ПАЛЕОПОЧВЕННЫЕ АРХИВЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ИСТОРИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Алексеев А.О.¹, Алексеева Т.В.¹, Борисов А.В.¹,
Мергелов Н.С.², Калинин П.И.¹**

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

² Институт географии РАН, Москва

e-mail: alekseev@issp.psn.ru

Глобальные климатические изменения, происходящие на Земле и связанные с ними прогнозы последствий для человечества и биосферы в целом находятся в последние годы под пристальным вниманием как ученых, так и государственных структур. Почва – «фокус» экосистемы, именно здесь в «критической зоне» происходит взаимодействие биосферы с атмосферой и гидросферой. Палеопочвы – древние почвы, которые были включены в геологическую летопись и формируют палеопочвенные архивы (тысячи и миллионы лет), сохраняющие физическую, биологическую и химическую информацию о прошлых эпохах. Биогеохимическая запись, представленная в палеопочвах, позволяет воспроизвести практически непрерывную картину эволюции ландшафтной оболочки Земли, при включении в сферу наших исследований всех палеопедосфер когда-либо существовавших на планете. Современные исследования палеопочв позволили ввести полуколичественные и количественные показатели для экологических и хронометрических реконструкций, которые дают представление о крупных региональных и глобальных изменениях температуры, осадков и атмосферного рСО₂ (Sheldon and Tabor, 2009; Sheldon, 2018; Tabor and Myers, 2015). Как важнейшие компоненты биосферы, палеопочвы являются первостепенными свидетельствами континентальных обстановок на Земле, начиная с раннего фанерозоя. Значимость палеопочвенных архивов обусловлена и тем, что лишь ~ 10% геологического времени напрямую зафиксировано в

осадочной летописи, в то время как основная ее часть скрыта из-за перерывов в осадконакоплении, субаэральных преобразований осадков, а также эрозии (Kabanov, 2017). Изучение палеопочв позволяет развить и детализировать наши представления об эволюции биосферы Земли, реконструировать экосистемы в целом. Сравнительное исследование процессов почвообразования и свойств почв в прошлом и настоящем, вероятно, позволит более обоснованно прогнозировать будущее.

Коры выветривания, демонстрирующие некоторые признаки почвенного строения, распознаются, начиная с архея (Retallack, 2001). Предполагается, что древние протопочвы возникали уже на самых первых этапах взаимодействия микроорганизмов с породой (~3.5 млрд лет назад). Колонизация суши сосудистыми растениями в позднем силуре (около 420 млн лет), по-видимому, дает начало почвам, как среде обитания высших растений. Системное изучение дочетвертичных палеопочв – сравнительно молодое направление почвоведения (Чалышев, 1978). Развитие исследований, связанных с изучением дочетвертичных почв в России и, в частности, исследование палеопочв палеозоя (ИФХи-БПП РАН) в последние два десятилетия были инициированы Г.А. Заварзиным и А.Ю. Розановым в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН, посвященной эволюции биосферы. Сведения о находках дочетвертичных палеопочв на территории Земли фрагментарны, отсутствуют карты почвенного покрова древних континентов. До недавнего времени (Alekseeva et al., 2016; Алексеев и др., 2018) в литературе отсутствовали прямые упоминания о находках палеопочв в разрезах девона Центрального Девонского Поля (ЦДП). Субаэральные поверхности в отложениях карбона описываются в литературе, начиная с первой половины XX в. Вместе с тем, субаэрально преобразованные поверхности морских карбонатных осадков каменноугольного возраста и перекрывающие их терригенные отложения Московской синеклизы до недавнего времени не рассматривались в качестве объектов палеопочвоведения. Поэтому обнаруженные палеопочвы, проведенные исследования и публикации (Kabanov et al., 2010a, 2010b, 2013; Alekseeva et al., 2010, 2013, 2016, 2017; Алексеева и др., 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2016, 2018; Alekseev et al., 2013; Алексеев и др., 2015) во многом являются пионерными. К настоящему времени выполнены исследования уникальных находок палеопочвенных объектов палеозоя, дающих представление о начальных этапах почвообразования на Земле и эволюции биосферы. Получены новые знания о континентальных этапах в развитии центральных и южных районов Русской плиты в среднем/позднем девоне и карбоне (380-300 млн. лет назад) – почвенном покрове, палеогеографии, направленности эволюции экосистем, климата и растительности на основе комплексного изучения ископаемых почв. Детальная характеристика палеопочв и их ге-

нетическая интерпретация позволили выявить особенности почвенного покрова в позднем палеозое, его стратиграфическую и латеральную пестроту. Пионерными являются исследования захороненного в палеопочвах палеозоя органического вещества. Впервые на основе геохимических и минеральных характеристик палеопочв проведены количественные реконструкции палеоклимата в среднем и позднем девоне и карбоне для территории Северной Евразии. (Alekseeva et al., 2016). Обобщены литературные сведения по находкам палеопочв девонского и каменноугольного возраста на территории современных Европы и Северной Америки, по которым впервые составлены палеопочвенные карты-схемы (Алексеева, 2020.)

За последние годы существенно изменились представления о распространении первых экосистем на суше (Stüeken et al., 2012; Beraldi-Campesi, 2013; Wellman and Strother, 2015; Lenton and Daines, 2017). Появились данные о микробных матах на терригенных осадках возрастом старше 3.2 млрд лет (Nomann et al., 2018), что приближается к общепринятым оценкам самой ранней микробной активности в аквальных обстановках (~3.5 млрд лет назад). Парадигма «докембрийских» палеонаук аккуратно трансформируется: от «зарождения жизни в океане» до «синхронного развития биоты на суше и в океане». Накапливающиеся геохимические, палеонтологические и палеогенетические данные по наземным экосистемам архея и протерозоя предоставляют новые возможности для составления пока очень грубых моделей почвенного разнообразия и структуры почвенных покровов докембрия. Методология развивающейся в последнее десятилетие концепции почвообразования в экстремальных условиях (Горячкин и др., 2019, 2022) дает возможность поиска ближайших современных аналогов протопочв различных геологических периодов (Mitchell et al., 2021) и сопоставлять их с обнаруженными ископаемыми вариантами (Alekseeva et al., 2021). К вероятным аналогам самых древних первичных почв могут быть отнесены подповерхностные протопочвы или криптопочвы: эндолитные и гиполитные разности (Mergelov et al., 2018, 2020). Сейчас эндолитные и гиполитные протопочвы широко представлены в Антарктиде, жарких пустынях и высокогорных регионах и имеют аккумулятивные и элювиально-иллювиально дифференцированные профили. Также мы можем рассматривать вариант амфибиальных протопочв прибрежных мелководий с субаквально-субаэральным режимом (амфибиальные ландшафты по Г.А. Заварзину). На настоящий момент наиболее древние представители такого рода протопочв обнаружены в песчаниках и конгломератах возрастом 3.22 млрд лет (Nomann et al., 2018). Аналоги представлены в современных прибрежных обстановках. Также как вариант протопочв могут рассматриваться криокониты (Cook et al., 2016) и «ледовые почвы» по А.Б. Таширеву с соавт. (2012). Органоминеральные осадки на поверхности ледников

являются очень древними образованиями (история оледенений насчитывает как минимум 3 млрд лет). В периоды масштабных оледенений супрагляциальные протопочвы, вероятно, были наиболее распространенными почвоподобными телами на планете. Почвоподобные профили микробного генезиса описаны внутри органоминеральных седиментов на абляционной поверхности современных ледников и даже внутри отдельных гранул криоконита (Segawa et al., 2020).

Еще в начале прошлого столетия К.Д. Глинка (1904) впервые обосновал значение древних почв для палеоэкологических реконструкций, а также отметил, что палеопочвенные объекты следует изучать теми же методами, что и современные почвы. Однако следует указать, что современное развитие исследований палеопочв и протопочв определяется появлением высокоточных современных инструментальных методов, позволяющих расшифровать записи твердофазной памяти почв и масштаб органоминеральных взаимодействий. Наряду с широко используемыми геохимическими и минералогическими методами, набор приоритетных методов исследования включает сверхразрешающую оптическую и электронную микроскопию (TEM/SEM/ESEM), масс-спектрометрическую визуализацию (MALDI-MS imaging), энергодисперсионную рентгеновскую спектроскопию (EDS), вторично-ионную масс-спектрометрию высокого разрешения (NanoSIMS), ^{14}C ускорительную масс-спектрометрию; рентгеноструктурный анализ высокого разрешения (μXRD), ИК- и КР-микроспектроскопию, сканирующую просвечивающую рентгеновскую микроскопию (STXM) в комбинации с исследованием тонкой структуры рентгеновского спектра поглощения (NEXAFS) и др.

Наибольшее количество работ (более 90%), связанных с исследованием палеопочв, относятся к исследованию четвертичного периода. В четвертичный период с изменением климатических условий происходило многократное смещение природных почвенно-климатических зон, широкое распространение в этот период получили ледниковые образования, флювиогляциальные отложения, аллювий, делювий, элювий и лёссы — главнейшие почвообразующие породы. Ископаемые почвы четвертичного периода изучены несравненно лучше древнейших ископаемых почв и служат основой для разработки методологических основ палеопочвоведения. В результате многочисленных исследований разработаны принципы в генетической диагностике палеопочв основных эпох почвообразования плейстоцена (межледниковых, интерстадиальных). Это позволило определить принадлежность палеопочв к природно-климатическим поясам и ландшафтным зонам прошлого, определить особенности процессов древнего педогенеза, типы палеопочв. Составлены палеопочвенные карты для Европы, а позднее для Северной Евразии (Величко, Морозова, 1972; Велич-

ко, 1973, 2009). Лессы и лессовидные отложения являются одними из наиболее широко распространенных типов континентальных четвертичных отложений. В настоящее время палеопочвенные исследованиями охватывают фактически все лессовые отложения Евразии, Северной Америки и других территорий. Выбор лёссово-почвенных формаций в качестве объектов исследования определяется тем, что они являются уникальным наземным хранилищем палеоклиматических флуктуаций глобального и регионального масштаба, которые обеспечивают понимание эволюции четвертичного периода и ее влияния на глобальные климатические изменения (Glushankova, 2021; Költringer, 2021). Восточно-Европейская равнина характеризуется одними из самых мощных и полных лёссово-почвенных серий Евразии, которые отличаются неравномерной как в пространственном, так и в хронологическом отношении изученностью (Velichko, 1990). Применение палеопочвенных, палеонтологических, палинологических, геохимических, палеомагнитных методов позволили более основательно подойти к хронологической и палеогеографической оценке отдельных горизонтов лёссовых серий. В строении лёссово-почвенной серии установлен последовательный ряд педокомплексов, отражающих эволюцию межледниковых этапов плейстоценового почвообразования в перигляциально-лёссовой зоне Восточной Европы (Panin, 2018). Но благодаря проработанной стратиграфической шкале, разработанной А.О. Величко с коллегами, мы имеем возможность проследить процесс почвообразования на Русской равнине на протяжении последних 800 тыс. лет (Величко, Морозова, 2015). Основные фазы формирования педокомплексов соотносятся с межледниковыми эпохами: мезинский – микулинское межледниковье, MIS 5e, ~135-117 тыс. лет назад, каменский – каменское межледниковье, MIS 7, ~190-220 тыс. лет назад, инжавинский – лихвинское межледниковье, MIS 9, ~300-340 тыс. лет назад, и воронский ПК – мучкапское межледниковье, MIS 13, ~470-500 тыс. лет назад. На сегодняшний день большинство палеопочвенных исследований сосредоточено на голоцене и последнем межледниковом периоде плейстоцена, который эквивалентен морской изотопной стадии MIS 5, который во многом является аналогом голоценового периода (Jie Chen, 2018; Makeev, 2021). Это происходит во многом благодаря развитию методов абсолютного датирования, которые позволяют уточнить стратиграфию позднего плейстоцена (Zykina, 2021; Jie Chen, 2022). Более древним стадиям уделяется меньше внимания (Dlussky, 2007; Panin, 2018; Timireva, 2022). Мезинский почвенный комплекс является наиболее интересным в контексте понимания глобальных изменений климата современности. По мнению многих специалистов, в южной части Русской равнины в позднем плейстоцене формировались схожие с современными черноземовидные почвы (Morozova, 1981; Sycheva, 1985; Glushankova, 2008; Panin, 2018, 2019), а климат в межлед-

никовые периоды был близок к современному. В целом, в Микулинское межледниковье зональность почв была схожа с современной, что делает эти палеопочвы важным инструментом для понимания эволюции почвенного покрова и климата межледникового периода, аналогичного современному.

Палеопочвенные архивы четвертичного времени, хранящие информацию о палеоэкосистемах и палеоклиматах, кроме лессово-почвенных комплексов плейстоцена включают многочисленные голоценовые палеопочвы археологических памятников, охватывающих средний и поздний голоцен. Начиная с 70-х годов прошлого столетия ведется активное исследование палеопочв различных археологических и исторических памятников позднего голоцена (Александровский А.Л., Ахтырцев Б.П., Геннадиев А.Н., Иванов И.В., Демкин В.А., Дергачева М.И. и др.). Исследования активно продолжаются и в настоящее время (Александровский А.Л., Борисов А.В., Чендев Ю.Г., Макеев А.О., Русаков А.В., Лисецкий Ф.Н., Хохлова О.С., Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Калинин П.И., Приходько В.Е. и многие другие). К настоящему времени обобщены результаты комплексного изучения широкого спектра свойств голоценовых палеопочв археологических памятников (курганов) ряда ключевых объектов степной, лесостепной и лесной зоны Русской равнины. Базируясь на исследованиях большого набора почв, погребенных под разновозрастными насыпями археологических памятников Русской равнины, к настоящему времени сформированы представления о климатических изменениях, коснувшихся этого региона. Ведутся детальные разработки методических и теоретических основ изучения палеопочв как индикаторов состояния и эволюции природной среды в различные исторические периоды, развитие палеопочвоведения идет по пути перехода из области качественного анализа к количественному подходу к палеореконструкциям. Базируясь на геохимических индексах и магнитных свойствах палеопочв, продемонстрирована возможность количественной оценки палеоклиматических параметров палеосреды. Картографическая реконструкция изменения индекса аридности с использованием методов ГИС-моделирования на основе палеопочвенных данных демонстрирует, что за последние 5000 лет на территории Волго-Донского междуречья происходили неоднократные изменения климатической ситуации, вызывавшие миграции границ почвенно-географических зон с амплитудой до 200-300 км (Алексеев и др., 2020). Предложена концепция биологической памяти почв и культурных слоев археологических памятников – информация об условиях почвообразования, носителями которой являются живые организмы, их генеративные и покоящиеся формы, отмершие и минерализованные организмы и ткани, биоорганические соединения, низко- и супрамолекулярные продукты микробной трансформации органического вещества, следы и продукты жизнедеятельности живых организмов в почвенном профиле

(Борисов и др., 2021). Показано, что изменения климатических условий отражаются в микробной памяти погребенных почв в виде изменения биомассы и эколого-трофической структуры почвенного микробного сообщества. Применительно к культурным слоям поселений и почвам со следами древнего антропогенного преобразования, наряду с микробной памятью, реализуется ферментная память, позволяющая реконструировать поступление в почву неспецифичных для нее субстратов, в первую очередь субстратов антропогенной природы.

Основной результат современного этапа исследования палеопочвенных архивов состоит в получении новых данных о кризисных и оптимальных этапах в истории почвообразования как ретроспективной основы для оценки современного состояния почвенного покрова и прогноза его развития в результате глобальных и региональных изменений климата, включая доказательства особой роли почвы в глобальных круговоротах углерода и азота. Для реализации возможности ретроспективного анализа и сравнения почвенных свойств в пространственных и временных рамках, а также создания прогнозных сценариев развития почвенного покрова в условиях меняющихся климатических, антропогенных условий требуется обобщение и структуризация накопленных палеопочвенных данных. Одним из вариантов может служить создаваемая в ИФХиБПП РАН информационная система с использованием методов ГИС-технологий «SOILGEOARCH – почвы и геoarхеологические архивы Восточно-Европейской равнины».

Глобальный цикл углерода тесно взаимодействует с климатической системой Земли, определяя современные тенденции изменения климата. В связи с этим актуальным направлением палеопочвенных исследований являются глобальные реконструкции палео- CO_2 и создание детализированной летописи в рамках международного сотрудничества. Для понимания возможных будущих глобальных изменений климата, необходимо заглянуть как можно дальше в прошлое, в те времена в истории Земли, когда содержание CO_2 в атмосфере было существенно выше, чем сегодня. Палеоклиматологи используют различные "прокси", биологические и геохимические записи прошлого атмосферного CO_2 , которые могут быть получены из окаменелостей и минералов в наземных и морских архивах. При этом преимущества палеопочвенных индикаторов заключаются в том, что они не теряют чувствительность при высоком уровне концентраций CO_2 и могут использоваться на протяжении широкого временного интервала, включающего последние 400 миллионов лет.

Дальнейшее развитие и детализация накопленных на данный момент представлений об эволюции биосферы Земли в масштабе геологического и исторического времени, а также прогноз долгосрочных последствий геоэкологи-

ческих изменений и выработка адекватной стратегии поведения в условиях ускоряющегося развития экологического кризиса требует развитие и продолжение целенаправленных исследований палеопочвенных архивов. Развитие палеопочвоведения и подходов к палеореконструкциям, во многом способствует пониманию процессов почвообразования, факторной теорий почвообразования и элементарных процессов почвообразования, формирующих твердофазные продукты функционирования почв.

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ № 19-29-05178 и РНФ № 22-27-00370.

УДК 631.41

ГЛОСОЛАН КАК МЕЖДУНАРОДНАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГАРМОНИЗАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Шамрикова Е.В.¹, Красильников П.В.², Остинелли М.³

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ ГЛОСОЛАН, Аргентина

Характеристика и учет почвенных ресурсов, проектирование ландшафтно-адаптивных систем земледелия, прогнозирование реакции почв на антропогенное воздействие предполагают объединение информации, собранной научными коллективами разных регионов, стран и континентов. Существующее многообразие научных школ, использующих разные принципы диагностики почв, методы их изучения, препятствует обобщению накопленных почвенно-географических данных в единые массивы. Для преодоления экспертных разночтений становятся необходимыми разработка гармонизированных стандартов анализа почв, а также поиск поправочных коэффициентов.

Осознание необходимости укрепления потенциала почвенных лабораторий в 2017 году привело к появлению при Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО, FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations) интерактивной структуры – Глобальной сети почвенных лабораторий (ГЛОСОЛАН, GLOSOLAN, <http://www.fao.org/global-soil-partnership/glosolan>). На данный момент в ГЛОСОЛАН зарегистрировано свыше 840 лабораторий из более чем 150 стран мира.

К основным задачам этого сообщества относятся повышение уровня исследований путем согласования стандартных операционных процедур

известных методов, обеспечение и контроль качества измерений, продвижение передовой практики в области охраны здоровья и безопасности. Итогом работы экспертов сети является разработка гармонизированных стандартов, обучающих видео- и текстовых материалов, которые в открытом доступе размещаются на веб-странице сети.

ГЛОСОЛАН – это международная многоуровневая аналитическая система (см. рис.). Разветвленная структура глобальной сети обеспечивает успешную организацию деятельности и адаптацию к локальным условиям. Скелетом ГЛОСОЛАН являются региональные сети почвенных лабораторий (РЕСОЛАН), организованные в соответствии с регионами по классификации ФАО. Начиная с 2021 г. инициирован запуск национальных сетей почвенных лабораторий (НАСОЛАН). Национальные сети создаются путем объединения почвенных лабораторий, работающих в одной стране; сеть координируется национальной референтной лабораторией.

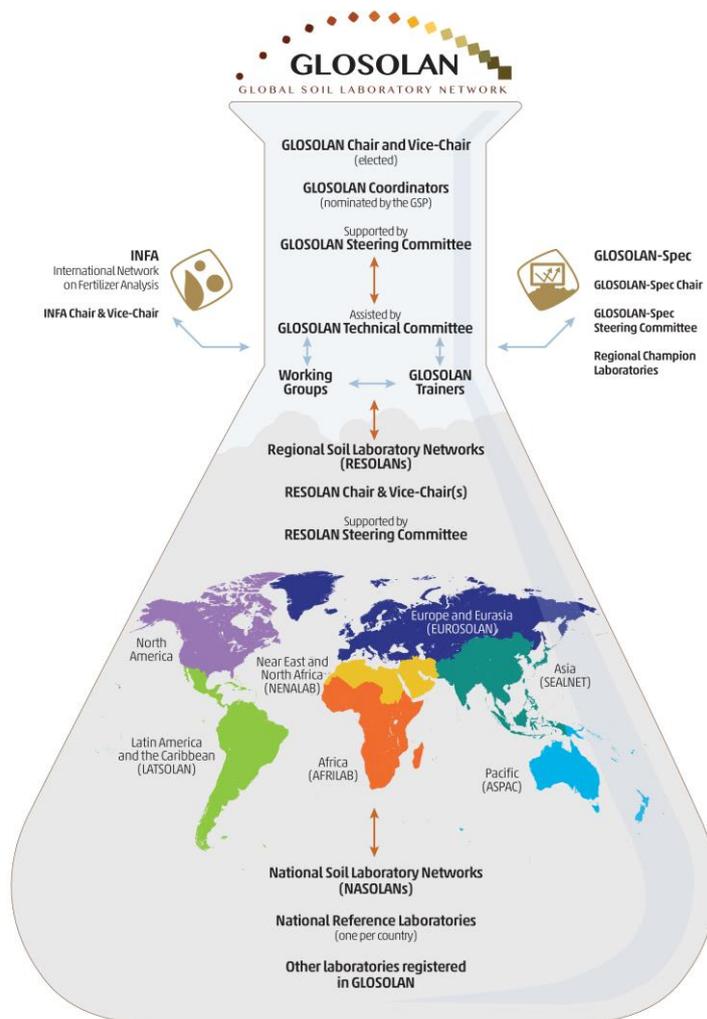


Рисунок. Структура ГЛОСОЛАН (<http://www.fao.org/global-soil-partnership/glosolan>).

В Российской Федерации в 2022 г. была создана национальная сеть РУСОЛАН. На сегодняшний день национальная сеть насчитывает тринадцать лабораторий научных и образовательных учреждений из Барнаула, Брянска, Москвы, Новосибирска, Перми, Петрозаводска, Пущино, Ростова-на-Дону, Санкт-Петербурга и Сыктывкара. Функции национальной референтной лаборатории на период 2021–2022 гг., согласно решению Департамента международного сотрудничества Министерства сельского хозяйства России от 16.12.2020, возложены на коллектив Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (г. Сыктывкар).

Лаборатории национальной сети не только участвуют в глобальных инициативах, но и активно заняты разработкой и метрологической аттестацией методик анализа почв. Насущность последнего определяется развитием аналитических подходов, обновлением приборной базы, а также использованием российскими учеными различных модификаций методов, не всегда дающих сопоставимые результаты. Так, национальной референтной лабораторией выполнены масштабные исследования по гармонизации результатов измерений органического вещества (ОВ) почв, полученных с использованием отечественной (Тюрин) и международной (Уолкли-Блэк) методик. В качестве референтного принят метод высокотемпературного каталитического сжигания ОВ в присутствии кислорода. Экспериментально доказано, что используемые в практическом почвоведении модификации метода Тюрина обеспечивают разные условия окисления почвенного органического углерода, а отдельные стадии выполнения анализа могут снижать точность измерений данного показателя. Это послужило причиной разработки новой модификации метода и проведения ее аттестации (Свидетельство № 88-17641-001-RA.RU.310657-2020, Центр «СЕРТИМЕТ» АХУ УрО РАН, <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16>). Установленные поправочные коэффициенты, учитывающие неполное окисление ОВ в условиях, регламентированных методами Тюрина и Уолкли-Блэка (1.15 и 1.3 соответственно), при погрешности измерений не более 20% позволяют интегрировать накопленный за более чем вековой период массив данных о содержании ОВ в различных типах почв России и ряде стран Евразии в глобальную сеть мониторинга качества почв (Shamrikova et al., 2022).

Утвержденный план работы РУСОЛАН предусматривает мероприятия, направленные на повышение контроля качества результатов измерений, в том числе за счёт проведения межлабораторных сличительных испытаний. Это позволит обосновать внедрение в практику почвенных и агрохимических лабораторий России протоколов и прописей ФАО, а также модифицированных отече-

ственных методик, гармонизированных с международными стандартами. Продвижение унифицированных методик измерений на законодательном уровне будет способствовать экспериментально обоснованному пересмотру устоявшихся подходов с целью глобализации знаний.

Литература

Transferability between soil organic matter measurement methods for database harmonization / E. V. Shamrikova, B. M. Kondratenok, E. A. Tumanova, E. V. Vanchikova, E. M. Lapteva, T. V. Zonova, E. I. Lu-Lyan-Min, A. P. Davydova, Z. Libohova, N. Suvannang // Geoderma. – 2022. – Vol. 412. – URL. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115547>

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ,
ДОПОЛНИТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫЕ В ПРОГРАММУ РАБОТЫ
VIII СЪЕЗДА ОБЩЕСТВА ПОЧВОВЕДОВ им. В.В. ДОКУЧАЕВА**

УДК 631.4

ПОЧВЫ В ДЕВОНЕ, ИХ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТЬ И РАЗНООБРАЗИЕ

Алексеева Т.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пущино
e-mail: alekseeva@issp.serpukhov.su

В докладе представлены результаты изучения палеопочв (ПП) среднего и позднего девона, обнаруженные на территории Воронежской и Белгородской областей (территория Центрального Девонского поля-ЦДП). Сведения о находках дочетвертичных палеопочв на территории Земли фрагментарны (Алексеева, 2020). В связи с этим каждая находка ПП этого возраста представляет большой научный интерес. Несмотря на обширную информацию о флоре, сведения о находках палеопочв в разрезах девона ЦДП до недавнего времени отсутствовали. ПП вместе с тем являются важнейшими архивами, содержащими наиболее достоверную информацию о палеоклимате и палеоэкологии наземных экосистем, а также важными стратиграфическими единицами.

Рассматриваемая в работе территория в девоне располагалась вблизи экватора, занимала островные территории в пределах важнейшей для того времени зоне активного вулканизма. В работе детально охарактеризована ПП до-эйфельского возраста (> 400 млн лет), развитая на риолитовой лаве, залегающей в кровле Протерозойского фундамента (Павловский карьер гранитов, Воронежская обл.). ПП латерально выдержана, имеет мощность 30-70 см, определяемую рельефом подстилающих кристаллических пород. Она имеет морфологические признаки иллювиирования глины, языковатую подошву, новообразования в виде Fe-гипсовых нодулей, включения углей. Последние принадлежат аллохтонным остаткам организмов *Nematasketum* и *Prototaxites*. Угли частично замещены пиритом. Окисление пирита вызывает глубокие преобразования материала инертной риолитовой лавы и последующее формирование кислой

сульфатной содержащей гипс ПП. Сформированная каолинитовая ПП не имеет выраженного горизонтного строения, но для ее кровли характерно: оглинивание, рост величины магнитной восприимчивости, содержания Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , отношений Al/Ti , Ba/Sr . Кровля ПП была заселена криптогамной растительностью. Обнаруженная в карьере Стойленского ГОКа (Белгородская обл.) на коре выветривания докембрийских железистых кварцитов ПП также определена как содержащая гипс кислая сульфатная. Триггером ее формирования послужило окисление пирита, содержащегося в качестве примеси в составе железистых кварцитов. Данная ПП развита локально под криптогамной растительностью, формирующей матоподобный органогенный горизонт. Характерной особенностью этой ПП являются подповерхностные локальные (по трещинам и кавернам в кварците) масштабные преобразования преимущественно химической природы. Глубина преобразования достигает 15 см. В полостях имеет место дезинтеграция, формирование «пудровости», обезжелезнение, отбеленность, накопление органического вещества. ПП является эндолитной, при этом подповерхностные преобразования породы имеют макромасштабы (Alekseeva et al., 2021). Преобразования исходного материала идут по пути формирования каолинита и оксидов железа.

Далее в докладе приведены сведения о находках палеопочвенных педокомплексов живетско-франского возраста (~ 385 млн лет) в Павловском карьере. ПП сформированы на вулканогенно-осадочных породах, имеют катенарный парагенезис. ПП водораздела сформированы под древесной растительностью (археоптерис), растительностью кустарникового и травянистого облика. Торфянистые ПП поймы – при участии водорослевой растительности. Сделан вывод о том, что ПП девона относятся к категории экстремальных (Горячкин, 2022). Для этого периода истории Земли была характерна мультифакторная экстремальность почвообразования, в первую очередь обусловленная породами (свойствами и составом), а также характерным составом атмосферы и отчасти – биолимитированием. В качестве характерной черты почвообразования назван также фактор катастроф. Последний объясняет формирование сложных педокомплексов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-27-00370).

УДК 631.41

**ИЗУЧЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ И ПОДВИЖНОСТИ Cd
В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР-РАСТЕНИЕ»
С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИОАКТИВНОЙ МЕТКИ ¹⁰⁹Cd**

**Анисимов В.С., Анисимова Л.Н., Санжаров А.И., Корнеев Ю.Н.,
Дикарев Д.В., Фригидов Р.А., Крыленкин Д.В.
Всероссийский НИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск**

С использованием вегетационного стенда, объединяющего в замкнутом цикле специальную лизиметрическую установку, заполненную дерново-подзолистой почвой легкого гранулометрического состава и дренажем, а также вегетационные сосуды с тест-растениями - водной культурой ячменя, исследованы процессы перехода в водную фазу и поглощения природного (стабильного) Cd и радиоактивного изотопа ¹⁰⁹Cd. При этом процессы перехода кадмия в водную фазу почвы и поглощения растениями хотя и разделены пространственно, но являются последовательно сопряженными. Установлены закономерности распределения ¹⁰⁹Cd(Cd) между различными формами (химическими фракциями) в почве с помощью метода последовательного фракционирования по Тесье-Форстнеру. Соотношение различных форм нахождения стабильного Cd и радионуклида ¹⁰⁹Cd (данные приведены в скобках) в почве, было следующим, %: I – 14.2 ± 0.6 (18.3 ± 0.7); II – 19.9 ± 5.1 (36.0 ± 1.6); III – 22.0 ± 1.1 (26.0 ± 4.1); IV – 16.0 ± 5.0 (6.8 ± 0.3); V – 10.0 ± 7.5 (1.9 ± 0.2); VI – 9.1 ± 2.3 (2.7 ± 0.2); VII – 8.9 (8.2). Относительное содержание подвижных и условно подвижных форм ¹⁰⁹Cd в почве (фракции I–III) превышает содержание соответствующих форм стабильного (природного) изотопа Cd в 1.3, 1.8 и 1.2 раза соответственно. В то же время значения относительного содержания консервативных (фракции IV–V) и прочнофиксированных форм ¹⁰⁹Cd в почве (фракция VI) были значительно меньше, чем для Cd в 2.4, 5.2 и 3.4 раза соответственно. Соотношение относительного содержания ¹⁰⁹Cd и стабильного Cd в остаточной фракции было около 1.

На основании данных об удельной активности ¹⁰⁹Cd/Cd были рассчитаны значения показателя, названного нами коэффициентом обогащения (K_o) радиоактивной меткой ¹⁰⁹Cd природного (стабильного) Cd, содержащегося в почве и растениях по отношению к главному компоненту нашей модельной системы – лизиметрическому раствору, например: $K_o_{\text{раст}}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd}) = A_{\text{уд}}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})_{\text{раст}} / A_{\text{уд}}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})_{\text{раствор}}$.

Значения коэффициентов обогащения (K_o) соответствующих форм нахождения природного Cd радиоактивной меткой ¹⁰⁹Cd по отношению к глав-

ному компоненту нашей модельной системы – лизиметрическому раствору на момент, соответствующий началу вегетационного эксперимента составляли: 1.20 ± 0.08 , 1.73 ± 0.45 , 1.09 ± 0.20 , 0.40 ± 0.09 , 0.26 ± 0.18 , 0.28 ± 0.06 , 0.34 ± 0.03 . Само значение $A_{y\delta}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})_{\text{раствор}}$ было равно 320 ± 74 Бк/мг. Следует отметить, что среднее значение $A_{y\delta}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})_{\text{почва}}$ для почвы в целом, равное 273 ± 15 Бк/мкг, было ниже значения $A_{y\delta}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})_{\text{раствор}}$. Это свидетельствует о большей подвижности внесенного в почву радиоактивного изотопа ^{109}Cd по сравнению со стабильным нативным Cd.

Значения коэффициентов обогащения вышеуказанных подвижных и условно подвижных химических фракций Zn (I, II, III) радиоактивной меткой ^{109}Cd ($K_{\text{Oфр№}}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd}) = A_{y\delta}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})_{\text{фр№}}/A_{y\delta}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})_{\text{раствор}}$) были >1 , неподвижных фракций (IV-VII) <1 . Это позволяет предположить, что в системе почва–раствор из химических фракций I–III ионы $^{109}\text{Cd}^{2+}$ будут преимущественно десорбироваться в лизиметрический раствор, а во фракции IV-VII, наоборот, сорбироваться из него, что, постепенно будет приводить к уменьшению $A_{y\delta}(^{109}\text{Cd}/\text{Cd})$ для первой группы фракций и увеличению для второй. Исходя из полученных результатов и предположения о возрастающей способности экстрагентов, используемых в методе последовательной экстракции, извлекать катионы цинка, можно рассчитать запас подвижного кадмия в единице массы почвы – значение E -value: $(E_{\text{Zn}}) = \Sigma C(\text{Zn})_{\text{фрI-III}} = 134 \pm 16$ мкг/кг (или $79.3 \pm 3.0\%$). Соответствующее значение удельной активности ^{109}Cd в почве ($A_m(^{109}\text{Cd})_{\Sigma\text{фрI-III}}$) на момент начала вегетационного опыта было равно 52.1 ± 1.8 кБк/кг.

Установлено, что кадмий (радионуклид и стабильный изотоп) накапливается преимущественно в корнях, а не в вегетативных частях (ВЧ): соотношение $A_m(^{109}\text{Cd})_{\text{корни}}/A_m(^{109}\text{Cd})_{\text{ВЧ}} = 8.2$, $[\text{Cd}]_{\text{корни}}/[\text{Cd}]_{\text{ВЧ}} = 5.3$. Значения коэффициентов концентрирования (K_K) Cd в корнях были в 5 раз выше, чем в ВЧ ячменя. Подобный тип ответной реакции растений на токсичный элемент-ксенобиотик называется барьерным. Отношение $K_K(^{109}\text{Cd})_{\text{корни}}/K_K(^{109}\text{Cd})_{\text{ВЧ}}$ было около 7. Различия величин $AK(^{109}\text{Cd})$ и $AK(\text{Cd})$ обусловлены, по нашему мнению, ошибками измерений. Такую же картину, свидетельствующую о барьерном типе накопления кадмия ячменем, дают соотношения $K_n(\text{Cd})$ и $K_n(^{109}\text{Cd})$ в корнях и ВЧ (5 и 8 раз, соответственно).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: грант № 19-29-05039

УДК 631.41

**ДИАГНОСТИКА ВИДООБРАЗОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПОЧВАХ****Бауэр Т.В.¹, Минкина Т.М.², Цицуашвили В.С.²**¹ Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону
e-mail: bauertatyana@mail.ru² Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
e-mail: tminkina@mail.ru

Химические методы последовательного фракционирования тяжелых металлов в почвах являются одним из основных методов диагностики их видообразования. Но из-за ограниченной селективности вытяжек образование форм металлов на молекулярном уровне не может однозначно диагностироваться данными методами. Кроме того, ни один из методов последовательного фракционирования не позволяет определять виды связи металла с основными фазами-носителями и образующиеся собственные фазы металла в виде малорастворимых оксидов и солей. Неразрушающие методы рентгеноспектральной (XANES и EXAFS) и рентгеноструктурной (XRD) диагностики за последние 30 лет позволили идентифицировать формы многих металлов в загрязненных почвах на молекулярном уровне.

Для определения видообразования Zn в техногенно трансформированной почве использовался комбинированный прием на основе структурного анализа спектров XAFS и рентгеновской дифракции XRD оставшегося образца после каждой стадии последовательного экстрагирования с использованием схемы BCR. Техногенно нарушенная почва была отобрана на импактной территории поймы р. Северский Донец – одного из главных притоков р. Дон (Юг России), которая в 1950-1990-х гг. использовалась в качестве бассейна для отвода сточных вод химического завода и представляет собой высохшую старицу оз. Атаманское.

Схема последовательного фракционирования BCR предусматривает выделение кислоторастворимой (0.11 М CH_3COOH , pH 3), восстанавливаемой (0,1 М $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, pH 2), окисляемой (27% H_2O_2 , затем 1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, pH 2) и остаточной фракции (царская водка). XAFS-спектры были получены на станции “Структурное материаловедение” Курчатовского центра синхротронного излучения НИЦ “Курчатовский институт”. Анализ XRD проводили на станции рентгеноструктурного анализа “Белок/XSA”.

Установлено, что Zn концентрируется в основном в восстанавливаемой (48%) и остаточной (28%) фракциях. Относительное содержание металла в

наименее прочно связанной с почвой кислоторастворимой фракции составляет 19%. На долю окисляемой фракции приходится всего 5% металла.

Большая часть пиков, присутствующих на дифрактограммах образцов почвы после первой и второй стадий экстрагирования, соответствует аутигенным серосодержащим минералам: вюртциту (ZnS с гексагональной структурой) и сфалериту (ZnS с кубической структурой). Образец почвы после извлечения окисляемой фракции наиболее насыщен сульфидами, в то время как в образце почвы после извлечения восстанавливаемой фракции доминируют филлосиликаты. Результаты анализа спектроскопии рентгеновского поглощения и моделирования линейной комбинации позволили установить, что ZnS присутствует во всех фракциях, но в обменной и восстанавливаемой фракциях связи $Zn-S$ составляют 57% и 50%, соответственно, в виде сфалерита. Основные различия между фракциями связаны с соотношением содержания $ZnSO_4$ и ZnO . $ZnSO_4$ является основным компонентом (65%) в кислоторастворимой фракции, что согласуется с преобладанием связи $Zn-O$ в первой оболочке, определенной по данным EXAFS.

Таким образом, совместное использование методов XAFS, XRD и последовательного фракционирования позволяет получить взаимодополняющую информацию о видообразовании металлов в техногенно трансформированных почвах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-60041.

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА НА ПОГЛОЩЕНИЕ И ПРОЧНОСТЬ УДЕРЖИВАНИЯ МЕДИ ЧЕРНОЗЕМОМ ОБЫКНОВЕННЫМ КАРБОНАТНЫМ

Бурачевская М.В., Манджиева С.С., Барахов А.В., Лобзенко И.П.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
e-mail: marina.0911@mail.ru

Для очищения загрязненных почв и для повышения эффективности выполнения почвой своих функций необходимо внедрять технологии ремедиации почв *in situ*. К таковым относятся физико-химические технологии очистки почв с использованием различных сорбентов, в том числе углеродистых. Тяжелые металлы (ТМ), как продукты техногенной эмиссии, являются крайне опасными поллютантами. Сорбция ТМ включает в себя различные адсорбционные про-

цессы, такие как образование внешне- и внутрисферных комплексов и ионный обмен, а также механизмы поверхностного осадкообразования. Однако ТМ, которые связаны поверхностью сорбента, имеют тенденцию десорбироваться. В этой связи особый интерес представляет оценка поглощения ионов ТМ почвой в присутствии углеродистых сорбентов. Цель работы – изучить влияние углеродистого сорбента на адсорбционную способность чернозема обыкновенного при моноэлементном загрязнении Cu.

Для эксперимента использован верхний слой (0–20 см) чернозема обыкновенного карбонатного тяжелосуглинистого на лёссовидном суглинке, отобранном в Октябрьском районе Ростовской области (ООПТ «Персиановская заповедная степь»). Для исследования влияния углеродистого сорбента на адсорбционную способность почвы по отношению к ТМ был выбран биочар. Биочар был получен в результате термического разложения шелухи риса при температуре 700 °С, скорости нагрева 15 °С/мин и времени выдержки биомассы 75 минут. К образцам почвы был добавлен биочар в дозе 2.5 масс%.

В работе использован метод неизменных навесок (5 г) и переменных концентраций (от 0.05 до 1.0 мМ/л). Каждая из концентраций соответствовала одной точке на изотерме адсорбции. Исследуемый раствор металла приготовлен из нитрата Cu. Массовое отношение жидкой и твердой фаз составляло 1 : 10. При достижении равновесного состояния после взбалтывания в течение часа и суточного отстаивания суспензии были отфильтрованы. Равновесные концентрации ионов металла определены методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Были рассчитаны значения коэффициентов распределения металла между твердой и жидкой фазами (K_d) и степени сорбции (S).

Полученные значения K_d и S ионов Cu(II) почвой достаточно высокие. В вариантах с внесением Cu(II) в исследуемом диапазоне концентраций (0.05–1.0 мМ/л) степень поглощения металла снижается от 97 до 93. Добавление к почве биочара из шелухи риса приводит к увеличению S для Cu, которая во всех случаях близка к 100% и практически не зависит от исходной концентрации раствора. Вероятно, концентрация металла не оказывает влияние на их способность притягиваться поверхностью полярных сорбентов. Еще одним параметром эффективности сорбционной способности является K_d , который характеризует потенциальную мобильность металлов. При добавлении к почве биочара происходит возрастание величины K_d , что свидетельствует о повышении сродства поверхности к ионам металлов. При этом с ростом концентрации металла в исходном и, соответственно, равновесном растворе на всех исследуемых вариантах отмечается значительное уменьшение величины K_d , что свидетельствует о том, что доля поглощенного металла, а также энергия взаимодей-

ствия ионов с расположенными на поверхности сорбентов функциональными группами, определяющими их поглотительную способность, уменьшаются.

Таким образом, показано, что добавление в почву биочара повышает сорбционную способность чернозема обыкновенного по отношению к ионам исследуемого металла.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 19-74-10046-П.

УДК 631.42

ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ В СОПРЯЖЕННЫХ ПОЧВАХ СОЛОНЦОВЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПЛОСКОЗАПАДИННЫМ МИКРОРЕЛЬЕФОМ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ.

Варламов Е.Б., Лебедева М. П., Чурилин Н. А., Мусаэлян Р.Э.
ФГБНУ ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва
e-mail: evgheni968@rambler.ru

Изучено профильное распределение глинистых и кластогенных минералов в ряду сопряженных почв 2-х членного солонцового комплекса каштановых почв Северного Прикаспия на примере ключа Муратсай. Комплекс характеризуется плоскозападинным микрорельефом. Комплектность распространяется и на видовое разнообразие растительности. Каштановые почвы микрозападин развиты как под степной, так и переходной к галофильным видам растительностью, которая представлена травянистыми растениями (*Spiraea hypericifolia*, *S. crenata*, *Nonea pulla*, *Agropyron cristatum*, *Gypsophyla paniculata* и др.). В растительности под солонцом преобладают галофиты, которые представлены травянистыми многолетниками и полукустарничками, – Compositae (*Artemisia pauciflora*, *A. santonica*, *Galatella tatarica*), Chenopodiaceae (*Kochia prostrata*, *Salsola laricina*), Gramineae [Poaceae] (*Leymus ramosus*, *Agropyron desertorum*). Каштановая почва в сравнении с солонцом имеет более высокую биологическую продуктивность.

В изученных почвах изменения гранулометрического состава наблюдаются только в метровом слое профилей, а распределение илистых частиц имеет элювиально-иллювиальный характер, в солонце он более выраженный. Минералогический состав глинистых и кластогенных минералов почвообразующих пород сопряженных почв однотипен и представлен: смешанослойной фазой иллит-сметтитом с крупными блоками смектитовых пакетов; диоктаэдрическим иллитом; каолинитом совершенной формы; магнезиально-железистым хлори-

том. Кластогенные минералы представлены кварцем, слюдами, полевыми шпатами двух видов: альбит и ортоклаз, каолинитом и хлоритом. Минералогические профили сравниваемых почв и почвообразующие породы характеризуются близкой ассоциацией глинистых и кластогенных минералов. Почвообразование выявило существенные отличия исцелованных профилей почв. В элювиальной толще гор. SEL солонца и гор. AJ каштановой почвы установлено накопление следующих кластогенных минералов: кварца, калиевых полевых шпатов, слюд, а содержание хлорита наоборот уменьшается, при этом количество глинистых минералов здесь минимально. Установлено высокое содержание кварца и калиевых полевых шпатов в поверхностном горизонте солонца и меньшее их количество в каштановой почве. В расчете на фракцию в каштановой почве зафиксировано повышенное содержание иллита по сравнению со смешанослойной фазой, аналогичный характер соотношения минералов, но с большей амплитудой проявляется и в профиле солонца. При расчете на почву в целом указанные тренды сохраняются. В срединных горизонтах – гор. BSN солонца и гор. ВМК каштановой почвы – наблюдается обратная картина: содержание кластогенных минералов находится в минимуме, а количество глинистых в максимуме с максимальным содержанием смектита. От каштановой почвы к солонцу усиливается профильная элювиально-иллювиальной дифференциация глинистых минералов за счет лессиважа. Преобладание в поверхностных горизонтах каштановой почвы иллита над смешанослойной фазой в сравнении с солонцом связывается с иллитизацией (необменной фиксации калия) смектитового компонента.

Процесс щелочного гидролиза и лессиважа выражается присутствием супердисперсных минералов и значительного количества рентгеноаморфного вещества. Супердисперсность лабильных минералов в генетических горизонтах сравниваемых почв проявляется и на микроуровне, в наличии чешуйчатой оптической ориентации тонкодисперсного вещества в срединных горизонтах, в максимальной степени это выражено в солонце, при этом современные кутаны иллювиирования отсутствуют. Изменения минералогического состава почв комплекса связаны как с современными почвообразовательными при различных условиях локального увлажнения, так и реликтивными процессами в условиях изменения климата.

УДК 004.032.26

АНАЛИЗ ПОЧВЕННЫХ АГРОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

**Воробьев Н.И.¹, Свиридова О.В.¹, Пухальский Я.В.¹,
Пищик В.Н.^{1,2}, Ладан С.С.³**

¹ ФГБНУ ВНИИСХМ, Санкт-Петербург
e-mail: Nik.IvanVorobyov@yandex.ru

² ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург

³ ВНИИУА им. Д. Н. Прянишникова, Москва

Традиционно вычислительные системы используют для прогнозирования многомерные регрессионные модели, отражающие зависимости урожая растений от экологических и агротехнологических условий. Возможности таких систем весьма ограничены. Они не в состоянии обработать большой объем данных и уверенно прогнозировать продуктивность сельскохозяйственного производства в изменяющихся экологических условиях. Бурное развитие в последнее время Интернет коммуникаций и средств беспилотного дистанционного ГИС мониторинга полей привело к тому, что значительно увеличился по объему и разнообразию поток аграрных данных (BigData). В связи с этим, для эффективной обработки аграрных BigData и взвешенного управления сельскохозяйственным производством стало актуальным создание вычислительных систем прогнозирования динамических аграрных процессов на основе искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС в on line режиме способны с высокой производительностью обработать BigData и, обрабатывая данные, самообучаться, выдавая с каждым шагом обучения все более качественную информацию о направленности происходящих почвенных процессов. Это позволяет предупреждать нежелательные негативные тенденции в аграрных экосистемах.

Одной из агрохимических характеристик почв является стохастический профиль гумуса. Стохастический профиль гумуса – это массив из 10-ти чисел. На первом месте в этом массиве располагается процент полей с 1-м классом содержания гумуса в почве, на 2-м – процент полей с 2-м классом и т.д. На последнем 10-м последнем месте массива располагается процент полей с 10-м классом содержания гумуса в почве. Сумма всех чисел в стохастическом профиле равна 100%. Для пашен и залежей каждого региона России можно определить свой стохастический профиль гумуса.

Задачей исследования было конструирование и обучение ИНС для классификации регионов по 10-бальной шкале уровня использования гумусовых ресурсов почв. ИНС должна классифицировать 7-ми регионов России по стохастическим профилям гумуса пашен и залежей: (1) Центральный; (2) Северо-

Западный; (3) Южный; (4) Приволжский; (5) Уральский; (6) Сибирский; (7) Дальневосточный.

Для решения поставленной задачи был выбран однослойный вариант ИНС «Персептрон», содержащий 10 информационных нейронов (каждый соответствует одному классу содержания гумуса в почве) и два константных базовых нейрона. Обучение ИНС сводилось к поиску таких значений весовых коэффициентов информационных и константных нейронов, при которых ИНС представляла бы распределение баллов 7 регионов России, совпадающее с теоретическим распределением баллов использования гумусового ресурса почв.

После обучения ИНС были определены баллы использования гумусового ресурса почв для залежей и пашен семи регионов России. При этом мы полагали, что отношение вычисленных баллов для пашен и залежей указывает на уровень использования гумусового ресурса почв по регионам России. В результате было установлено, что Южный и Северо-Западный регионы России на 85-88% используют гумусовый ресурс почв в сельскохозяйственном производстве; Центральный, Приволжский, Уральский и Сибирский регионы – на 50-58%, а Дальневосточный регион – только на 26%. Это соответствует общим представлениям о влиянии климатических условий на сельскохозяйственное производство в этих регионах.

С помощью ИНС удастся решать широкий круг оптимизационных сельскохозяйственных задач, обрабатывая в одном пакете агроландшафтные, агрохимические (гумус, Сорг, NPK, pH и др.), агрофизические, фотометрические (индекс NDVI), экономические, ГИС, социальные и другие аграрные BigData. На основании такой обработки аграрных данных можно получить обоснованные рекомендации по выбору агротехнологии и системы земледелия в регионах.

УДК 631.41

ПЕДОАНТРАКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ПАХОТНЫХ ПОЧВ И КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

Гольева А.А.¹, Мергелов Н.С.¹, Энговатова А.В.², Фазульдинова Н.М.¹

¹ Институт географии РАН, Москва

² Институт археологии РАН, Москва

На 7 участках была определена концентрация антракомассы на разновозрастных и различных по типу хозяйственного использования археологических памятниках (табл.).

Цель работы – показать степень и характер антропогенного вклада в общую пирогенную составляющую современных ландшафтов.

Таблица

Объекты исследования и концентрация антракомассы по весу

№	Археологический памятник	Образец	Время	Культура	Концентрация антракомассы (ppm)
1	Авдеево N51.6903° E35.8019°	КС, заполнение ямы	верхний палеолит, 23-21 К	восточный граветт	312
2	Хотылево-2 N53.3469° E34.1081°	Зольник	верхний палеолит, 23-21 К	восточный граветт	16996
3		Заполнение жилища	РЖВ, III-V вв. н.э.	киевская археологическая культура	584
4	Юдиново-1 N52.6708° E33.2828°	КС1	верхний палеолит, 14-12 К	восточно-европейский эпиграветт	2355
		КС 2			94
5	Ярославль N57.6264° E39.8933°	КС 1,	1220-1238гг	Славяне	2839
		КС 2,	начало 13 в нэ		1842
		КС 3,	середина 12 в нэ		9436
		А пах1	8-10 вв н.		2920
		А пах 2	РЖВ	Дьяковская культура	243
6	Болгар 54°59'02.76"N, 49°02'48.62"E	А огор	20 век		4080
		КС	13 в нэ	Болгарская культура	1075
		А пах1	9-10 вв нэ		56
		А пах 2	5-7 вв нэ	Именьковская культура	0
7	Троице-Сергиева лавра 56°18'55.31"N, 38°08'08.89"E	КС общий	15 в нэ	Славяне	409
		КС строительн.			783
		А огор.	14 в нэ		1532

Показано, что хозяйственная деятельность человека сопровождается обогащением окружающих его почв углистым материалом, формируя своеобразный «пирогенный антропогенный архив». Ранние пахотные горизонты содержат меньше углистых частиц по сравнению с более поздними. Выявлен разный вклад антропогенно созданной антракомассы в почвы в зависимости от харак-

тера использования почв у разных культур. Культурные слои содержат больше пирогенного материала по сравнению с пахотными горизонтами, выше доля более крупных частиц. Наблюдается увеличение запасов пирогенного материала от древних пахотных горизонтов к современным огородным. Культурные слои поселений занимают промежуточное значение. Но, если рассматривать пространственный вклад пирогенной антропогенной компоненты, то доля культурных слоев будет минимальной (точечной) по сравнению с площадями пашен даже в раннем средневековье.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-29-05238.

УДК 579.222.4+551.312.2

**ПОСЛЕПОЖАРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ
МИКРОБИОМОВ ТОРФЯНЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ ПОЧВ
В СРЕДНЕЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ КОМИ**

**Гродницкая И.Д.¹, Пашкеева О.Э.¹, Старцев В.В.²,
Горбач Н.М.², Дымов А.А.²**

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
e-mail: igrod@ksc.krasn.ru

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УРО РАН, Сыктывкар
e-mail: aadymov@gmail.com

Исследовали пирогенные воздействия на химические и микробиологические свойства торфяных олиготрофных почв двух регионов: Европейского Севера (Республика Коми) и Средней Сибири (Красноярский край). В почвах изучаемых территорий на различной глубине обнаружены признаки пожаров (пирогенные слои), в них отмечено высокое содержание макроскопических частиц угля в нижних горизонтах. Оценено влияние пожаров на химический состав и развитие микробиомов торфяных почв. Показано, что влияние пожаров на состав торфа может быть различным. Полагаем, что пожары оказывали существенное влияние на процесс заболачивания территорий в их инициальной стадии. Объектами послужили участки (Уч.) болотных массивов, максимально приближенные к постпирогенным соснякам: Республика Коми – в национальном парке Койгородский – Уч. 1 и в Печоро-Илычском заповеднике – Уч. 2; Красноярский край – около мачты Зотто – Уч. 3 и Уч. 4. В Республике Коми Уч. 1 подвергался интенсивным пожарам в начале формирования (около 9 тыс. лет назад) и в современный период (140 лет назад), Уч. 2 – испытал лишь кос-

венный эффект в виде выгорания прилегающих лесов. В Красноярском крае торфяники Уч. 3 и Уч. 4 горели несколько раз. Для выявления особенностей формирования микробиомов в торфяных почвах двух регионов исследовали химические свойства, микробиологическую активность (базальное дыхание – БД, микробную биомассу – МБ) и качественный состав бактерий и грибов. Установлено, что наибольшая активность горения ближайших лесов возле болот РК наблюдалась в конце атлантического, середине суббореального периодов. Послепожарное торфонакопление в Красноярском крае на Уч. 3 началось в первой половине бореального, а на Уч. 4 – в первой половине атлантического периода. Верхние горизонты торфяников сложены в основном из сфагновых мхов, что способствует наличию кислой среды (рН 2.9–4.9) и низкой скорости их разложения. Содержание $C_{орг}$ в торфяных горизонтах почв всех участков 48–49%, азота ($N_{вал}$) – больше в торфяниках РК, чем в сибирских в 1.6–2 раза. При этом для всех торфяников характерна низкая степень насыщенности основаниями (10–11%). Вертикальное распределение микроорганизмов зависело от рН и ботанического состава торфа. Участки характеризовались низкой микробной активностью. Максимальные значения МБ и БД приурочены к аэробной зоне (0–20 см), существенно снижаясь в нижних горизонтах торфяников. В процессе разложения органики принимали участие в основном ацидофильные олиготрофные бактерии, с окислительным типом метаболизма. Среди них доминировали представители фил *Acidobacteria* и *Proteobacteria* (60–80% общего количества). Развитие бактериобиомов и микобиомов в пирогенных горизонтах тесно связано со временем прошедших пожаров и глубиной их залегания. Активное участие в освоении продуктов пирогенеза принимали представители *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*, а также Archaea (*Euryarchaeota*, *Crenarchaeota*, *Thaumarchaeota*), содержание которых колебалось от 4.4 до 35.7% в зависимости от участка. Количество ацидобактерий (*Acidobacteria*) в пирогенных горизонтах снижалось по сравнению с не пирогенными: на Уч. 1 и Уч. 2 в 1.2 и 2.1, на Уч. 3 и Уч. 4 – в 1.8–2.8 раза. Качественный и количественный состав грибной биоты пирогенных горизонтов отличался от таковых выше- и нижележащих не пирогенных. Количество грибов в них снижено в среднем в 1.2–1.5 раза. В пирогенных горизонтах увеличивается доля представителей *Ascomycota* и *Mucoromycota*, существенно снижается *Basidiomycota*. В не пирогенных горизонтах видовое/родовое разнообразие грибов различалось по участкам и в целом было достаточно высокое даже на глубине 220–240 см.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-29-05111мк.

УДК 631.445.24

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ И БИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ****Елькина Г.Я.¹, Лаптева Е.М.¹, Лиханова И.А.¹, Смотрина Ю.А.²,
Виноградова Ю. А.¹, Ковалева В. А.¹, Перминова, Е. М. ¹, Холопов Ю.В. ¹**¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар² Институт естественных наук СыктГУ им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар
e-mail: elkina@ib.komisc.ru

Постагrogenная трансформация почв привела к существенным изменениям почвенных параметров, определяемых уровнем окультуренности, продолжительностью сукцессии, стадией и типом растительности, а также особенностями использования до и после перевода в залежное состояние. В подзоне средней тайги на залежных участках при отсутствии ежегодного сенокоса происходила достаточно быстрая смена луговой стадии стадией мелколиственных молодняков, часть залежей заросла борщевиком Сосновского, который препятствует развитию древесных сообществ.

На первых этапах самовосстановительной сукцессии (до 25 лет) произошли процессы трансформации почвенного профиля с формированием мало мощного серогумусового (дернового) горизонта. Пахотный горизонт дифференцировался на два слоя с отличающимися физико-химическими свойствами, гумусовым и биологическим состоянием. Наиболее интенсивные процессы характерны для дернового горизонта. Он имеет более низкую обменную кислотность, более высокое количество поглощенных катионов, подвижных элементов питания, углерода. При этом наиболее высокие показатели присущи почвам под зарослями борщевика Сосновского, менее – под молодым лесом. В почвах мелколиственных сообществ произошло подкисление почв, и снизился уровень биофильных элементов.

Если в серогумусовом горизонте в основном сохранялись свойства присущие пахотным почвам, то в остальной части ранее обрабатываемого слоя без мероприятий по поддержанию почвенного плодородия шел медленный процесс восстановления физико-химических свойств, характерных для целинных подзолистых почв. В этом слое произошло повышение всех форм кислотности. Преобладающая часть бывшего пахотного слоя обеднилась двухвалентными катионами и подвижными элементами питания за счет вымывания в результате интенсификации элювиальных процессов и выноса растениями. С учетом того, что фитомасса борщевика Сосновского существенно превышала фитомассу луговых трав в молодом лесу, и имела более высокую скорость разложения по сравнению со зла-

ково-разнотравной, серогумсовый горизонт под инвазивным растением отличался более высоким уровнем плодородия, а изменения в почве происходили менее значительно, чем под луговой и древесной растительностью.

С изменением характера растительности изменился гумусовый статус и агрегатно-структурное состояние почв. Наиболее низкое содержание углерода было характерно для почв под молодым лесом, высокое – под сообществом борщевика. Различия в содержании углерода в серогумусовом горизонте с прилегающим к нему слоем составили 1.5–2.5 раза. Более высокое количество агрономически ценных агрегатов сохранилось в почве луга и зарослях борщевика Сосновского.

Процессы в залежных почвах во многом связаны с составом микрофлоры и интенсивности протекания микробиологических процессов. Бывший пахотный горизонт резко дифференцировался по показателям микробной биомассы, особенно в молодом лесу и в зарослях борщевика. Выявлена тенденция возрастания микробной биомассы в ряду постагрогенных почв: «луг – мелколистственный молодняк – заросли борщевика Сосновского» с ее концентрированием преимущественно в верхнем 0–10 см слое почвы. Установлены закономерности изменения в этом ряду численности и таксономического разнообразия комплекса культивируемых микроскопических грибов. В структуре микробной биомассы в верхних горизонтах (глубина 0–10 см) почв постагрогенных экосистем преобладали споры грибов. Выявлена связь растительных ценозов с особенностями почвенных микробных сообществ.

В целом на первых этапах постагрогенеза залежные почвы в основном сохранили признаки агроземов, основные изменения произошли в пределах бывшего пахотного слоя, особенно в серогумусовом горизонте.

УДК 574.4

ЭДАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛЕТНЕГО САДА

**Жукова Е.А.¹, Аль Меклафи Я.Ф.А.², Надпорожская М.А.²,
Стадник Е.П.², Петрова В.С.¹**

¹ Русский музей, Санкт-Петербург
e-mail: ealukmazova@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
e-mail: m.nadporozhskaya@spbu.ru

В городских экосистемах по сравнению с природными значительно изменены растительность, животный мир, климат, рельеф и почвы. Долголетие и

декоративность растительности городских зеленых зон зависит от микроклимата, освещенности, загрязнения воздуха, интенсивности рекреационной нагрузки, качества почв. Городские почвы могут быть образованы на отложениях культурного слоя, могут быть переуплотнены, содержать подщелачивающие и загрязняющие вещества, могут отличаться избытком или дефицитом биогенных элементов (С, N, P, K). Особенности физико-химических характеристик городских почв следует учитывать при планировании мероприятий по уходу за зелеными насаждениями. Главный объект исследования, Летний сад, расположен в Историческом центре Санкт-Петербурга на одноименном острове, омываемом водами Невы, Фонтанки, Мойки и Лебяжьего канала. Для сравнения исследовали Инженерный сквер, расположенный неподалеку от Летнего сада, перед Михайловским замком. Цель работы – изучение состояния растительности и приоритетных физико-химических характеристик гумусовых горизонтов почв. Растительность и почвы города – динамичные системы, испытывающие влияние городской среды и хозяйственной деятельности городских служб. Для контроля состояния растительности и качества почв необходимы регулярные переобследования. По литературным данным почвы Летнего сада супесчаные и легкосуглинистые с включениями фрагментов строительного мусора. Ниже культурного слоя залегают погребенные естественные почвы. Реакция среды почв Летнего сада варьирует от слабокислой до слабощелочной. Выявлены контуры загрязненных тяжелыми металлами почв. Поверхностные горизонты хорошо гумусированы. Отмечено невысокое содержание минеральных форм азота, данных по валовому азоту в работах последних лет нет. Почвы Кленовой улицы не изучены. Древесные насаждения в Летнем саду и Инженерном сквере представлены липами (преобладают), кленами, дубами и ясенями. С 2015 по 2021 гг. сохранность деревьев в Летнем саду около 95%, в Инженерном сквере выпало 20% деревьев на газонах вдоль асфальтовых покрытий. В поверхностных (0–20 см) слоях изученных почв Летнего сада, в боскетах с посадками кустарников (лещина, малина, бузина) и елей, в гранулометрическом составе 80–90% мелкозема (< 1 мм) и 20–10% скелетной части (>1 мм); pH_{H_2O} от кислого до нейтрального, Сорг. 2.21–3.87%, Нобщ. 0.15–0.23%, С/N 15–25. В поверхностных (0–20 см) слоях почв газонов Инженерного сквера значение pH_{H_2O} от слабокислого до щелочного, Сорг. 3.38–4.45%, Нобщ. 0.20–0.51%, С/N 12–13. Подкисление почв Летнего сада с поверхности, а также повышенные С/N почв Летнего сада обусловлены периодическим внесением торфокомпостов (pH_{H_2O} 4.5, С/N около 30). Установлено, что на газоны Инженерного сквера противогололедные реагенты незначительно влияют, поскольку ранней весной в почвах солей менее 0.3%. Полевая влажность всех изученных почв весной и осенью

была около 50% от полной влагоемкости. Летом газоны Летнего сада и Инженерного сквера не поливают, почвы могут пересыхать и перегреваться в период летней жары. Это и может быть одной из главных причин сокращения продолжительности жизни деревьев на узких газонах Инженерного сквера, расположенных между заасфальтированными тротуарами и автомобильными дорогами. Сомкнутость крон деревьев Летнего сада частично защищает почву от перегрева. Температурные и водные режимы городских почв нуждаются в изучении. Нормативы содержания основных элементов питания и загрязняющих веществ требуют пересмотра, поскольку были разработаны для земель сельскохозяйственного назначения. Качество органического вещества городских почв и вносимых органических удобрений также требует исследования для поддержания оптимальных эдафических условий городских экосистем, гармонизации хозяйственных мероприятий и экономии средств.

УДК 631.48

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА: «ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ РФ»

Иванов А. Л., Столбовой В.С.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва
e-mail: vladimir.stolbovoy@gmail.com

Согласно Статье 72 Конституции РФ «...владение, пользование и распоряжение землей, недрами, водными и другими природными ресурсами» входит в совместную компетенцию государственных органов РФ и субъект/муниципальных образований. Федеральный уровень предполагает формирование национальной политики и государственных программ в области использования и охраны почвенных ресурсов сельскохозяйственных угодий. Субъект/муниципальный уровень адаптирует государственную политику в регионах, а также формирует региональную повестку, исходя из собственных природных и социально-экономических особенностей и задач. Для этих целей Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (ЕГРПР, 2014) предусматривает развитие реестров почвенных ресурсов субъектов РФ (стр. 467). Последние представляют основу для развития нормативно-правовой базы комплекса земельных отношений в регионах.

Новые вызовы развития сельскохозяйственного землепользования характеризуются высоким уровнем сложности формулирования целей. Последние включают различные отрасли знаний и практик, которые агрегированы в си-

стему взаимосвязанных элементов, согласно законам композиции, прямых и обратных связей и пр. Действительно, современное решение проблемы продовольственной безопасности включает экономику, в части стоимости продовольствия и доходов населения, социально-демографические аспекты в разделе регулирования народонаселения, медицину для формирования здорового населения и разнообразия пищевых рационов, огромное число задач устойчивого развития, таких как экология и деградация почв и пр. Перечисленное разнообразие формирует новое понимание значения почв в жизни общества, которое не может характеризоваться традиционными, исключительно почвенными данными и требует создания инновационного интегрального информационного почвенно-ресурсного сопровождения.

В настоящее время выполнен ряд исследований по двухуровневому информационному почвенно-ресурсному сопровождению сельскохозяйственного производства в РФ (Иванов и др., 2020; Петросян и др., 2021; Столбовой и др., 2020; Столбовой и др., 2021). Результаты работ объединены в «Интегральную цифровую платформу «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ» (*ИЦП ПРСХ*), которая представляет новый высокотехнологичный государственный цифровой информационный ресурс, предназначенный для формирования и сопровождения государственной политики в области управления комплексом земельных отношений РФ.

Целью настоящего сообщения является обсуждение базовых концепций и результатов развития *ИЦП ПРСХ*.

Объектом *ИЦП ПРСХ* выступают *почвенные ресурсы*, под которыми понимаются почвы и их измеряемый количественно природно-хозяйственный потенциал для выполнения сельскохозяйственной деятельности (потенциал сельскохозяйственных почв, *ПСХП*). Количественно природно-хозяйственный потенциал сельскохозяйственных почв оценивается способностью почвы выполнять функции, необходимые для сельскохозяйственного использования, или *качеством почв*, выраженным баллами бонитета и/или величиной нормативной урожайности оценочной культуры (в кадастровой оценке зерновые культуры). *Типологической единицей качества почв (ТЕКП)* выступает пространственно повторяющаяся по набору атрибутов и функций, относительно однородная по качеству и природно-технологическим особенностям группа почв. *Картографической единицей качества почв (КЕКП)* является ареал (контур/полигон) *ТЕКП*, отраженный на карте качества почв сельскохозяйственных угодий (Столбовой и др., 2021). *ИЦП ПРСХ* включает всю площадь сельскохозяйственных угодий РФ, в пределах которой выделено 10711 *ТЕКП* и 57678 *КЕКП*. Полнота и детальность карты качества почв сельскохозяйственных угодий РФ

соответствует масштабу 1 : 300 000 – 1 : 500 000, что позволяет проецировать *ТЕКП* с достаточной точностью на субъекты РФ. Карта качества почв сельскохозяйственных угодий РФ представлена в РАН и отмечена в качестве одного из главных научных достижений 2021 г.

ИЦП ПРСХ реализует принцип «минимальной информационной, технологической и ресурсной достаточности». *Информационная достаточность* обеспечивается перечнем конкретных задач сельскохозяйственной отрасли и требованиями их информационного обеспечения. *Технологическая достаточность* поддерживается общей операционной средой программных средств QGIS на основе единого математического, программного и технического сопровождения. *Ресурсная достаточность* обеспечивается тесной связью с системой государственного мониторинга сельскохозяйственных земель (Концепция ..., 2010). В дополнение, список атрибутов базы данных согласуется с параметрами модели кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения (Методические указания..., Приказ № П/0336 от 17.12.2021г.). Параметры Модели обновляются каждые 5 лет в рамках регламента работ государственной системы агрохимического обслуживания сельского хозяйства при МСХ РФ. Таким образом, функционирование *ИЦП ПРСХ* не предусматривает дополнительных расходов на ресурсоемкие операции по сбору и первичной обработке данных. Ресурсная достаточность (рис. 1) поддерживается документальным и нормативно-правовым сопровождением (отчеты, ГОСТы, Законодательные Акты).

ИЦП ПРСХ использует подходы создания целевых геоинформационных баз данных, интегрированных на основе позиционного единства. На рисунке показано формирование геометрической и атрибутивной частей *ИЦП ПРСХ*.

В части формирования блока моделей, *ИЦП ПРСХ* использует национальные традиции и подходы, такие как модификация относительной оценки качества почв в баллах бонитета и нормативной урожайности оценочных сельскохозяйственных культур, определение пригодности почв под различные культуры. *ИЦП ПРСХ* также включает новую систему цифровых моделей для решения задач государственных программ мелиорации сельскохозяйственных земель, возвращения в оборот залежных земель и др.

ИЦП ПРСХ создана для решения новых, системного уровня сложности задач социально-экономического развития в области сельскохозяйственного землепользования, таких как: мультиаспектность и взаимосвязанность природных и социально-экономических данных, обеспечивающих устойчивое развитие сельскохозяйственного сектора; оперативность, доступность и открытость почвенно-ресурсных данных/информации на федеральном и субъект-

муниципальном уровнях на основе цифрового формата; мультивариантность использования почвенных ресурсов, обеспечивающую выбор землепользователя высококачественными природно-хозяйственными данными и моделями; экономическая эффективность и экологическая допустимость сельскохозяйственного землепользования на основе критериев и моделей качества почв и др.

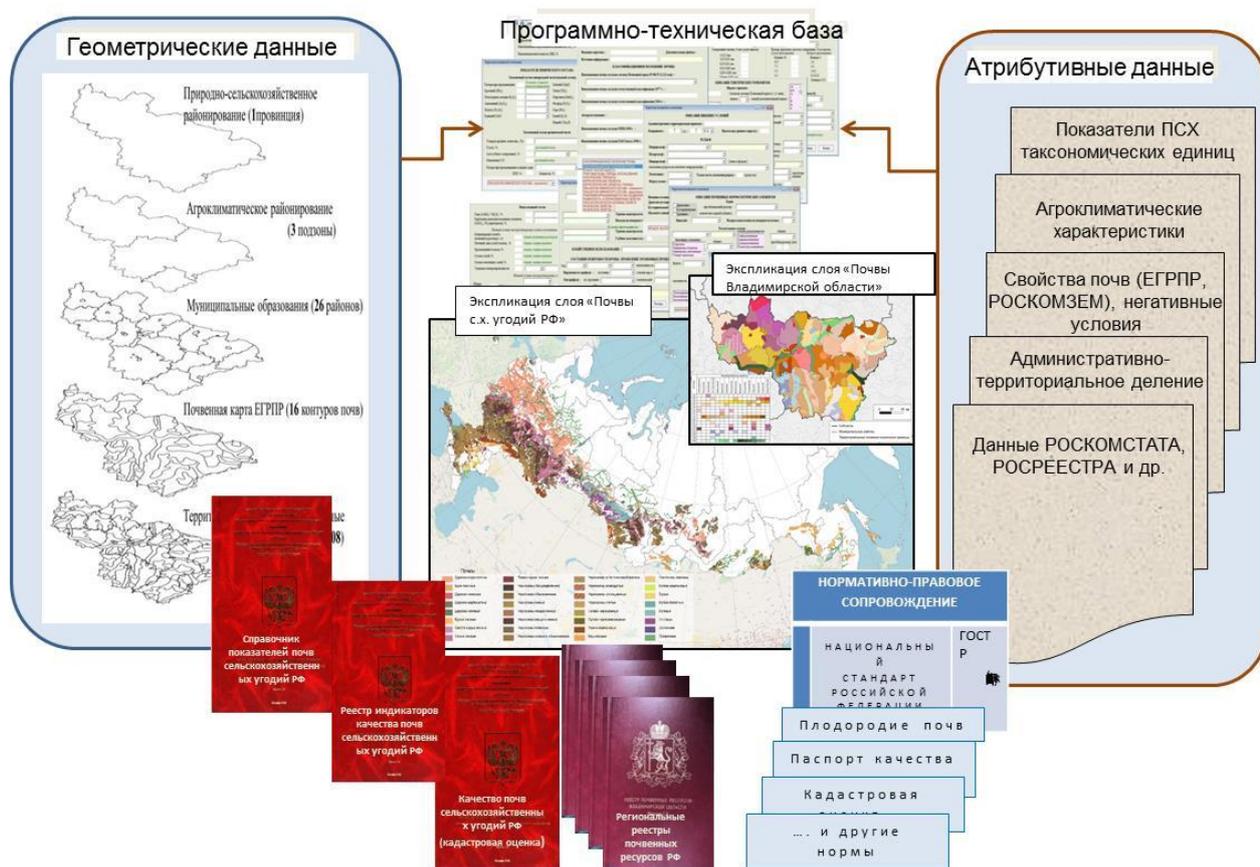


Рис. Структура и описания отдельных модулей ИЦП «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ».

На рисунке показано разнообразие аспектов геометрической и атрибутивной частей ИЦП ПРСХ. Также продемонстрирована сложность программно-технической базы. Вместе с тем, интегральный характер ИЦП ПРСХ позволяет оперировать с традиционно почвенными данными на уровнях страны и субъекта РФ. Впервые демонстрируется (см. рис.) разнообразное документальное оформление почвенно-ресурсного сопровождения, включая справочники показателей почв сельскохозяйственных угодий, индикаторов качества почв, качество почв для кадастровой оценки почв. Также демонстрируется первая в РФ инвентаризация почвенных ресурсов субъекта РФ – «Реестр почвенных ресурсов Владимирской области». Важно подчеркнуть, что перечисленные докумен-

ты объединены в единый государственный почвенно-ресурсный пакет, который также взаимосвязан с нормативно-правовым сопровождением.

Необходимо отметить, что рассматриваемая *ИЦП ПРСХ* находится впереди зарубежных технологий (Иванов и др., 2022). Например, в 2021 г. ФИЦ «Почвенный институт им В.В. Докучаева», в рамках *ИЦП ПРСХ*, подготовил Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий РФ (Столбовой и др., 2021). Согласно новой почвенной стратегии (2021 г.), аналогичный документ для ЕС будет создан только в 2030 году.

Создание *ИЦП ПРСХ* является одним из главных достижений, демонстрирующих востребованность и решающую роль почвоведения в устойчивом социально-экономическом развитии РФ.

УДК 631.46

МИКРОБИОМЫ ПОЧВ ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНЫХ ШИРОТ

Иванова Е.А.¹, Зверев Е.О.², Кимеклис А.К.², Гладков Г.О.², Карпова Д.В.³,
Андронов Е.Е.², Абакумов Е.В.⁴

¹ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва
e-mail: ektrnivanova@gmail.com

² Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Пушкин, Санкт-Петербург
e-mail: arriam2008@yandex.ru

³ СПбГУ, Санкт-Петербург
e-mail: e.abakumov@spbu.ru

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
e-mail: karpovad@mail.ru

Изучение педогенеза является актуальным как с точки зрения эволюционного анализа почв, так и в вопросах оптимизации методов и подходов к рекультивации почвенных ресурсов. Одним из мощнейших средообразующих факторов в почвенных экосистемах является микробиом: микроорганизмам принадлежит ведущая роль в обеспечении циклов основных биогенных элементов, процессах деструкции/формирования органического вещества почвы. Новые возможности для исследования процесса почвообразования открывает использование метагеномных подходов, позволяющих анализировать разнообразие в том числе и некультивируемых форм микроорганизмов, которые, согласно последним научным данным, доминируют в составе природных сообществ микроорганизмов.

В ходе работы исследованы разновозрастные почвы хроносерий в сценариях самозаращения и рекультивации в ряду субстратно-фитоценологических комбинаций почвообразования в условиях полярного и бореального климатических поясов. Получены оригинальные данные о параметрах альфа- и бетаразнообразия микробиомов почв, проведен анализ связи этих параметров с данными об организации почвенного профиля и об агрохимическом составе почв на различных временных стадиях их развития, в том числе на этапах инициального почвообразования, параметризация которого, в свою очередь, является ключом к пониманию причинно-следственных связей в формировании устойчивого почвенного покрова на заброшенных сильнонарушенных землях.

В качестве объектов были изучены образцы разновозрастных почв, сформированных на поверхности отвальных комплексов Ямало-Ненецкого автономного округа, респ. Башкортостан, Якутии и карьеров Ленинградской обл., а также почв длительной хроносерии на береговых трансгрессионных валах Нижнесвицкого заповедника.

Выделение ДНК из почв проводили с использованием набора реактивов «PowerSoil DNA Isolation kit» (MoBio, США). Секвенирование и первичную обработку данных осуществляли на приборе ILLUMINA MiSeq. Образцы почв анализировались классическими почвенно-физическими и почвенно-химическими методами.

В составе микробиомов лесотундры в почвах, формирующихся на скальных субстратах, отмечалось сравнительное увеличение цианобактерий р. *Nostoc*, являющихся первопоселенцами на выветриваемых породах. В микробных сообществах почв с развитым органопрофилем отмечено уменьшение разнообразия актинобактерий и увеличение доли бактерий пор. *Rhizobiales* (*Ensifer*, *Rhizobium*), *Pseudomonadales* (*Acinetobacter*) и *Burkholderiales* (сем. *Burkholderiaceae*). Присутствие бактерий, способных к автотрофной и симбиотической азотфиксации, может косвенно указывать на инициацию аккумуляции соединений связанного азота на поверхности отвальных пород.

При сравнительном анализе почв подзоны южной тайги было установлено постепенное увеличение численности бактерий, грибов (преимущественно в верхних частях профиля) и архей (в минеральных горизонтах) в ходе развития почвообразовательного процесса. Показана эволюция микробиома, сопряженная с дифференциацией генетических горизонтов и профилей почв: на начальной стадии сукцессии микробиомы «зарождающихся» почвенных горизонтов имели сходную структуру, по мере развития почвы наблюдалось все более явная дифференциация микробиомов, соответствующих определенным генетическим горизонтам. Сообщества ранних стадий имели более богатый таксономи-

ческий состав, по сравнению с сообществами более поздних стадий. В состав первых входили филы, состоящие в основном из слабоохарактеризованных и главным образом некультивируемых бактерий: *Patescibacteria*, *Latescibacteria*, *Entotheonellaeota*; также отмечалось сравнительное увеличение обилия архей (*Thaumarchaeota*, до 11%). Для сообществ поздних стадий характерно увеличение доли типичных почвенных фил – *Verrucomicrobia*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*.

В ходе эволюции генетических горизонтов отмечалась смена таксономического состава, в частности, группы ацидобактерий (с существенным увеличением их доли в почвах климакса). Наряду с общим повышением уровня разнообразия увеличивалась доля почвенных бактерий, ассоциированных с корнями растений (*p.Bradyrhizobium* и *Burkholderia*), а также доли микроорганизмов гидролитического комплекса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 19-05-50107).

УДК 631.517

РАЗВИТИЕ ПРОДУЦЕНТОВ НА ПЕСЧАНЫХ КАРЬЕРАХ В ЗОНЕ ЛЕСОТУНДРЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Игловиков А.В.

ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, Тюмень
e-mail: iglovikovav@gausz.ru

Изучение закономерностей развития продуцентов после проведения биологического этапа рекультивации, несомненно, является одним из важных подходов к научно обоснованному проведению восстановления территорий на Крайнем Севере. При нарушении растительного покрова увеличиваются теплообмен между грунтами и атмосферой, отепление и деградация вечной мерзлоты. Поэтому существует повышенная потребность в более глубоком понимании распределения вечной мерзлоты, временной эволюции теплового режима грунта и консервирующей роли растительного покрова и в этих регионах. Целью работы является – изучение развития продуцентов на песчаных карьерах в зоне лесотундры Крайнего Севера при применении агротехнических приемов.

Исследования проведены в зоне лесотундры на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Изучали динамику развития в лесотундровой зоне искусственно созданного фитоценоза на нарушенных землях с полным уничтожением растительного покрова. Опыты размещены на дне песчаного ка-

рьера 26-летней выработки площадью более 27 га, расположенного в 15 км от г. Салехарда. Опытный карьер окружен кустарничково-лишайниково-мохово-лиственничными сообществами. Видовой состав местных продуцентов в районе исследований представлен такими видами, как кладония оленья (*Cladonia rangiferina*), кукушкин лён (*Polytrichum commune*), дикранум скученный (*Dicranum congestum*), цетрария клобучковая (*Cetraria cucullata*), цетрария исландская (*Cetraria islandica*), из древесной растительности береза карликовая (*Betula nana*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*).

В 2008 г. перед проведением агротехнических мероприятий были выявлены следующие небольшие группировки, произрастающие на дне карьера: иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeos*), сообщества пушиц (*Eriophorum vaginatum*), также отмечается появление ивовых (*Salicaceae*). В начале вегетации растений русла стока карьера обводнены, к концу вегетации обсыхают и растительность в них отсутствует. Живой напочвенный покров перед закладкой опыта занимал 12–15%. Установлено, что при полном уничтожении почвенно-растительного покрова при добыче песка на нарушенных местообитаниях первичные сукцессии развиваются крайне медленно, о чем свидетельствуют наблюдения на контрольных вариантах. Наиболее успешно возобновление растительности осуществляется на суглинистых грунтах, наименее успешно – на сухих песчаных грунтах, отличающихся активной ветровой и водной эрозией. Агромелиоративные приемы, проводимые нами в условиях лесотундры, способствуют прекращению раздувания легких по гранулометрическому составу песков, о чем свидетельствуют результаты наблюдений. Их применение ускоряет прохождение фазы высеянными многолетними травами, что способствует более быстрому задержанию и укреплению минерального субстрата, снижая ветровую и водную эрозию. Так, на 4-й год в искусственно созданных фитоценозах появляется аборигенная флора (*Eriophorum vaginatum*, *Polytrichum commune*, *Carex capitata*). На 7-й год она начинает доминировать (*Eriophorum vaginatum*, *Polytrichum commune*, *Carex capitata*, *Lathyrus pratensis*, *Trifolium repens*, *Salix borealis*) и замещать высеянные травы. На 9-й год пользования происходит их полная доминанция (*Eriophorum vaginatum*, *Polytrichum commune*, *Carex capitata*, *Lathyrus pratensis*, *Trifolium repens*, *Salix borealis*, *Equisetum arvense*, *Trifolium pratense*) до 70–80%, и только два вида высеянных трав (*Festuca rubra*, *Poa pratensis*) остаются в фитоценозе, занимая от 20 до 30%.

УДК 631.46

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПОЧВ
В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ****Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хорошаев Д.А., Жмурин В.А.**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино
e-mail: ikurg@mail.ru

Температурная чувствительность дыхания почв (soil respiration, SR) является основным параметром для оценки взаимосвязей между интенсивностью потоков углерода в наземных экосистемах и глобальным потеплением. Обычно температурную чувствительность SR выражают через величину Q_{10} , представляющую собой коэффициент, на который нужно умножить величину SR при повышении температуры на 10 °C. Многие глобальные климатические модели используют фиксированное значение Q_{10} , равное 1.5 или 2.0 для всех природно-климатических условий. Вместе с тем известно, что температурная чувствительность SR отрицательно коррелирует с температурой и снижается с уменьшением влажности почвы. В рамках представляемой работы, опираясь на данные непрерывного 24-летнего мониторинга за дыханием почв в лесных экосистемах южного Подмосковья, мы попытались оценить межгодовую вариабельность температурной чувствительности SR и выявить те факторы, которые ее определяют.

Наблюдения за дыханием почв проводятся непрерывно, начиная с 1997 г. в двух лесных ценозах, расположенных на территории Приокско-Террасного государственного биосферного заповедника (зрелый смешанный лес, дерново-подзолистая супесчаная почва) и в 3 км от г. Пущино вблизи опытно полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (вторичный лиственный лес, серая лесная почва). Общее дыхание почвы, включающее корневую и микробную компоненты, определяли круглогодично (3–5 раз в месяц) с использованием камерного статического метода. Параллельно контролировали температуру и влажность почвы в слое 0–5 см. В работе обобщены данные измерений за 24 года (1998–2021), в течение которых наблюдались самые разные сочетания погодных условий. Для их характеристики на основе рядов метеоданных, представленных среднемесячными температурами воздуха (T_v , °C) и месячными суммами осадков (P , мм), наряду со среднегодовыми значениями T_v (MAT , °C), годовыми суммами P (SP , мм), суммами осадков за периоды май–август (SP_{5-8}) и май–сентябрь (SP_{5-9}), были рассчитаны индексы влажности (WI_{5-8} , WI_{5-9}), индекс аридности (AI) и гидротермический коэффициент Селянинова (HTC_{6-8}).

Оценка температурного отклика величины SR в исследуемых лесных экосистемах проводилась для всего 24-летнего ряда экспериментальных данных и дифференцированно каждого года в отдельности. Температурный коэффициент Q_{10} , рассчитывали на основе линейной регрессионной зависимости между натуральным логарифмом SR и температурой верхнего 5-см слоя почвы, $T_{п}$: $SR = k \cdot T_{п} + b$. Величина $Q_{10} = \exp(10 \cdot k)$. Температурную чувствительность SR вычисляли для всего ряда данных и для выборки значений SR, измеренных в интервале $T_{п}$ выше 1°C . Для поиска связей между величиной Q_{10} с метеорологическими параметрами и климатическими индексами за время всего периода наблюдений использовали корреляционный и регрессионный анализы.

Проведенные численные эксперименты показали, что температурная чувствительность дыхания дерново-подзолистой супесчаной почвы была выше, чем серой лесной суглинистой почвы. Межгодовая изменчивость значений Q_{10} для SR в лесных экосистемах составляла 18–40% в зависимости от температурного интервала, для которого проводился расчет, и уровней засушливости/влажности года. Так, значения Q_{10} для величины SR изученных почв в засушливые годы были в 1.3–1.4 раза ниже, чем в годы с нормальным уровнем влажности. Для обоих типов почвы мы наблюдали значительную положительную корреляцию между значениями Q_{10} с количеством осадков и индексами влажности WI_{5-8} и WI_{5-9} для вегетационного сезона. Таким образом, мы заключаем, что сумма осадков за период май – август и индексы влажности, рассчитанные на ее основе, являются теми параметрами, которые определяют величину температурной чувствительности дыхания почвы в лесных экосистемах южного Подмосковья.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 22-24-00691).

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ АГРОГЕННОГО И ПОСТАГРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

**Лаптева Е.М.¹, Виноградова Ю.А.¹, Ковалева В.А.¹, Перминова Е.М.¹,
Захожий И.Г.¹, Далькэ И.В.^{1,2}, Смотрина Ю.А.², Генрих Э.А.²**

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
Сыктывкар, Россия

Специфика географического положения Республики Коми ограничивает развитие здесь сельскохозяйственного производства. Тем не менее в XIX и XX

вв. в регионе активно вовлекались под создание пахотных угодий дренированные дерново-подзолистые (южная тайга) и типичные подзолистые (средняя тайга). Наиболее плодородные и продуктивные почвы региона – аллювиальные почвы долинных ландшафтов – использовались в качестве естественной кормовой базы местных животноводческих хозяйств мясо-молочного направления. Окультуривание кислых, малогумусных почв подзолистого типа требовало внесения значительных объемов минеральных и органических удобрений. На рубеже XX-XXI вв. в Республике Коми, как и повсеместно в России, начался вывод земель из сельскохозяйственного производства, их последовательное зарастание злаково-разнотравной растительностью и мелколиственными древесными сообществами из березы и осины. Внедрение на залежные земли борщевика Сосновского сдерживает процесс заселения бывших пахотных участков древесными породами и в определенной степени консервирует в биоклиматических условиях средней тайги почвенное плодородие залежных участков.

Цель данной работы заключалась в выявлении закономерностей формирования микробных сообществ в пахотных почвах и их трансформируемых в процессе постагрогенной сукцессии аналогах, представленных в подзоне средней тайги Республики Коми.

Объектами исследования послужили дерново-подзолистые (пахотные) почвы опытного участка Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и стационарные участки (8 объектов) Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН с залежными землями – бывшими пахотными угодьями, сформированными в процессе окультуривания суглинистых подзолистых почв.

В результате проведенных исследований оценено влияние различных доз органических и минеральных удобрений на микробиологические показатели пахотной дерново-подзолистой почвы (подзона средней тайги, окрестности г. Сктывкар). Показано, что внесение органических удобрений стимулирует развитие бактерий в пахотных дерново-подзолистых почвах: их численность возрастает при внесении органических удобрений как без, так и в комплексе с минеральными удобрениями. Наиболее благоприятное воздействие на развитие комплекса почвенных микроскопических грибов оказывает внесение минеральных удобрений в полной дозе NPK, а также внесение минеральных удобрений в дозе 1/2NPK по фону ТНК в дозе 40 т/га. Внесение полной дозы NPK на фоне ТНК в дозе 80 т/га оказало неблагоприятное воздействие на функционирование почвенных микроскопических грибов, что проявилось в подавлении их жизнедеятельности – снижении длины и биомассы мицелия.

Внедрение в постагрогенные экосистемы *Heracleum sosnowskyi* в биоклиматических условиях средней тайги позволяет сохранять высокий уровень пло-

дородия бывших пахотных почв. Развитие на залежных землях древесной растительности приводит к снижению в постагрогенных экосистемах почвенного плодородия, что потребует более значительных финансовых затрат при их возвращении в систему сельскохозяйственного производства, по сравнению с постагрогенными экосистемами, где растительный покров представлен многолетними лугами и травянистыми сообществами с участием *Heraclium sosnowskyi*.

Показана связь растительного сообщества в постагрогенных экосистемах с особенностями почвенных микробных сообществ. Выявлена тенденция возрастания микробной биомассы (как по данным люминесцентной микроскопии, так и методом субстрат-индуцированного дыхания) в ряду постагрогенных почв: злаково-разнотравный луг – мелколиственный древесный молодняк – заросли борщевика Сосновского. В рассмотренном ряду почв отмечено концентрированием микробной биомассы преимущественно в верхнем 0-10 см слое почвы и более выраженная дифференциация по этому параметру бывшего пахотного горизонта в почвах под зарослями борщевика и древесного молодняка. Установлены закономерности изменения в ряду постагрогенных почв численности и таксономического разнообразия комплекса культивируемых микроскопических грибов. Наиболее обильны в почвах луга *Penicillium canescens* Sopp, *Mucor hiemalis* Wehmer, *Mycelia sterilla* (светлоокрашенный), *Penicillium decumbens* Thom, *Penicillium sp.*, в почвах с зарослями борщевика Сосновского – *Penicillium canescens* Sopp, *Metarhizium carneum*, *Mycelia sterilla* (светлоокрашенный), *Penicillium sp.*, *Penicillium simplicissimum*, *Aspergillus wentii* Wehmer, в почвах древесного сообщества – *Mycelia sterilla c/o*, *Penicillium canescens*, *Umbelopsis ramanniana*, *Mortierella humicola*, *Penicillium sp.*

Исследование биологических свойств почв под зарослями борщевика Сосновского на залежных участках показало, что в целом уровень ферментативной активности постагрогенных почв соответствует биоклиматическим условиям средней тайги (бедная и/или средняя степень обогащения ферментами). Однако по сравнению с залежными лугами для постагрогенных участков с монодоминантными зарослями борщевика Сосновского отмечен более высокий уровень содержания фермента каталазы (в 1.5 раза) и инвертазы (в 1.1–1.9 раз). Это соотносится с более высокими (в 2.5 раза) показателями здесь углерода микробной биомассы – около 600-1400 мкг С/г почвы (по данным СИД в зависимости от вегетационного сезона).

УДК 579.64:631.46 (1-751.1)(470.22)

ЭКОЛОГО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВ КАРЕЛИИ

Медведева М.В.

Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

e-mail: mariaimed@mail.ru

Эколого-микробиологический мониторинг почв антропогенно нарушенных территорий Карелии проводится регулярно и его можно условно разделить на три этапа. Первый этап, с начала 70-х годов прошлого столетия, характеризовался изучением микробиологических основ функционирования антропогенно нарушенных почв гидроморфного ряда среднетаежной подзоны Карелии. На данном этапе шло освоение новых методов изучения микробиоты почв, интенсивное накопление знаний о структурно-функциональной организации микробного сообщества почв, сформировавшихся в условиях гипертрофии водного режима. Можно отметить работы в области исследования почв данного типа Л. Козловской, Л.М. Загуральской, Н.И. Германовой, Р.А. Егоровой. Характеризуя микробиологические особенности распространения почв на территории Карелии, они отмечали низкую микробиологическую активность, не высокий ферментный пул исследуемых почв. Итогом их работы была составленная шкала оценки биологических параметров почв. На данном этапе группа ученых занималась изучением трансформации органического вещества, участие мезофауны в данном процессе. При этом исследовали не только биотическую компоненту почв, также большое внимание уделялось установлению трофических связей в системе почва-растение-биота, разработке биохимических путей преобразования органического вещества в почве.

Второй этап, с конца 80-х годов прошлого века, был связан с установлением индикаторов микробного сообщества почв, подверженных аэротехногенному загрязнению Костомукшского ГОКа. Л.М. Загуральской, М.В. Медведевой, Н.И. Германовой принадлежит описание микрофлоры почв, сформировавшихся в зоне техногенеза. Изучение микробиологических показателей проводили на участках, расположенных на разном удалении от источника эмиссии поллютантов. Необходимо подчеркнуть, что работа имела большое практическое значение, так как позволила выявить индикаторы состояния почв, подверженных загрязнению. Также на данном этапе интенсивно выполняли лабораторные модельные эксперименты с тяжелыми металлами, которые позволили установить изменение эколого-трофической структуры микробного сообщества, выявить индикаторы изменения педосреды. Было установлено стимули-

рующее влияние отдельных тяжелых металлов на микроорганизмы, показан их аккумулятивный эффект на микробиоту. К этому периоду относятся наблюдения за ферментативной активностью почв, подверженных аэротехногенному прессу. Выявлено увеличение активности ферментов класса оксидоредуктаз, гидролитического комплекса. Возможность использования изучаемых ферментов в мониторинге природной среды расширяет наши возможности по установлению ранних нарушений почв, проведение природоохранных мероприятий.

Третий этап, современный, охватывает период изучения почв заповедника «Костомукшский». К этому периоду относятся исследования Н.Г. Федорца, О.Н. Бахмет, Е.В. Мошкиной, Г.В. Ахметовой, А.Н. Солодовникова. Установлено, что БГЦ заповедника от остальных территорий отличаются природно-климатическими особенностями, типом рельефа, распространением старовозрастных ненарушенных хозяйственной деятельностью древостоев, а также почвами. Приводимый в различных публикациях авторов разносторонний аналитический материал дает подробное описание морфологических, физико-химических, химических свойств почв. Проведен анализ пространственного варьирования свойств почв по элементам микрорельефа, выявлены особенности морфологических свойств почв, установлена специфика преобразования органического вещества. Микробиологические исследования, проводимые на территории заповедника, позволили установить диапазон изменения численности важнейших эколого-трофических групп, оценить роль комплекса целлюлозоразрушающих микроорганизмов в микробном сообществе. Сравнительный анализ микробного сообщества почв средне- и северотаежной подзон Карелии выявил их особенности. Данные о микробиологической активности почв стали основой при проведении мониторинга природной среды. Также в этот период активно ведутся работы по идентификации микроорганизмов. Метод хематомасс-спектрометрии хорошо зарекомендовал себя при установлении состава микробного сообщества, выявлении главных участников синтетических процессов, происходящих в почве ненарушенных экосистем.

В настоящее время эколого-микробиологический мониторинг почв продолжается. На территории заповедника заложено более 18 пробных площадей, сделано морфологическое описание почв, определены их важнейшие свойства. Комплексный анализ природной среды, включающий описание растений напочвенного покрова, древесного яруса, установление состава лишайников, грибов делает значимыми проводимые в данном районе исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ ИЛ КарНЦ РАН.

УДК 634.0.114:581.526

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ: ОРГАНО- И ПИРО-?

**Надпорожская М.А., Мухиев Б., Мирин Д.М., Журавлева В.И.,
Стадник Е.П., Трунова Е.О.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
e-mail: m.nadporozhskaya@spbu.ru

Актуален мониторинг запасов и качественного состава соединений углерода (С) в почвах России. Лесные экосистемы – важнейшее депо почвенного углерода, размер этого депо определяют гранулометрический и валовый состав почв, давность и частота лесных пожаров, хозяйственная и рекреационная деятельность человека. В литературе отмечено, что для постагrogenных и постпирогенных лесных почв характерно повышение запасов С в минеральных горизонтах, а в послерубочных хвойных лесах растут запасы лесных подстилок. В минеральных горизонтах запасы С оценивают до глубины 20–30 см (биологически активная часть почвенного профиля) или до 1 м (мощность генетического профиля почв). Минимальные и максимальные запасы С в почвах доминирующих типов лесов северо-востока европейской части России на глубинах 0–30 и 0–100 см различаются в 4–13 раз. Запасы подстилок составляют 24–35% от общих запасов С в толще 1 м. Хотя оценки запасов С в почвах дренированных лесов Ленинградской области давно определены, составляют величины одного порядка, следует отметить, что остались еще неучтенные фракции почвенного С. Это углерод пирогенных соединений. Обычно при профильном описании почв для изучения их генезиса пробы из тонких прослоек (1–3 см) не отбирают. Запасы, стабильность и качественный состав пирогенных прослоек в дренированных сосновых лесах, выдерживающих 1–3 низовых пожара за поколение древостоя, нуждаются в изучении. То же можно сказать и о части подзолистого горизонта Е_{руг}, окрашенного в серые тона разной интенсивности из-за наличия древесных углей разной размерности (от крупных визуально определяемых угольков до пылеватых частиц). Нижний индекс руг для описания постпирогенных дренированных почв в научной литературе появился сравнительно недавно. Идет поиск аналитических методов для селективного определения пирогенных соединений как наиболее стабильной фракции почвенного С. Наши пробные площади заложены в сосновых лесах Ленинградской области на подбурях и подзолах (районы: Курортный, Лодейнопольский, Ломоносовский, Лужский, Приозерский). Определяли: таксационные характеристики древостоя, видовое разнообразие живого напочвенного покрова, давность и вид лесного пожара, запасы органического вещества почв (по потерям при прокаливании и

С орг. (по Тюрину в модификации Никитина), морфологические и общие физико-химические характеристики почв. Лесные подстилки по подгоризонтам (L, F, H) и подподстилочную пирогенную прослойку отбирали в пяти точках около базовых разрезов рамкой 25x25 см. Пробы из минеральных горизонтов отбирали в пятикратной повторности из базового разреза. Давность сплошных пожаров в изученных сосновых лесах варьировала от 60 до 140 лет. Локальные низовые пожары датированы по видовому составу напочвенного покрова и толщине годовых колец сосен. В наших пилотных работах установлено, что при запасах С в подстилках подзолов и подбуров сосняков зеленомошно-кустарничковых Ленинградской области 1.2–3.2 кг/м² и в минеральной толще 20(30) см 1.5–4.4 кг/м², в подподстилочной (1–3 см) пирогенной прослойке, содержащей древесные угли и детрит, запас С варьирует от 0.3 до 2.1 кг/м². Уточнению полученных величин способствует выбор модификаций методов определения содержания гигроскопической воды (Н₂Огигр, 70 и 105 °С) и потерь при прокаливании (ППП, 550 и 900 °С). Н₂Огигр различается в 1.5-2.0 раза не только при изменении температуры высушивания, но и зависит от сезона (включено ли отопление в помещении). PPP изученных почв не зависят от выбранных температур.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-24-00690.

УДК 631.48

РЕЕСТР ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ СУБЪЕКТА РФ (ВЛАДИМИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

**Петросян Р.Д.¹, Столбовой В.С.², Гребенников А.М.²,
Духанин Ю.А.², Шилов П.М.²**

¹ Верхневолжский Федеральный Аграрный Научный Центр, Суздаль

² ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва

Статья 72 Конституции РФ определяет нормы регулирования земельных отношений, согласно которым «владение, пользование и распоряжение землей, недрами, водными и другими природными ресурсами» входит в совместную компетенцию РФ и субъектов РФ. Реализация отмеченной нормы приводит к необходимости развития двухуровневого подхода почвенно-информационного обеспечения - федерального и субъект/муниципального. Отдельные детали обсуждаются в ряде публикаций (Иванов и др., 2020; Столбовой и др., 2020). Федеральный уровень обеспечивается «Единым государственным реестром поч-

венных ресурсов России (ЕГРПР, 2014). Субъект/муниципальный уровень поддерживается более детальным почвенным информационным ресурсом - Реестрами почвенных ресурсов субъектов РФ (стр. 467, ЕГРПР, 2014). При этом ЕГРПР служит общей научно-методической платформой региональных реестров почвенных ресурсов, что обеспечит сохранение целостности почвенно-информационного пространства страны. Двухуровневый подход гарантирует создание государственной нормативно-правовой базы управления комплексом земельных отношений страны.

Настоящее сообщение иллюстрирует первый для РФ опыт построения субъект/муниципального уровня почвенно-ресурсного информационного сопровождения сельскохозяйственного производства на примере Владимирской области.

Субъект/муниципальный уровень почвенно-ресурсного информационного обеспечения строится на данных новой Интегральной цифровой платформы «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ». В основе последней находится целевая информационно-насыщенная геоинформационная интегральная база данных, т. е. база данных, которая состоит их множества баз данных, описывающих комплекс параметров почвенно-природных условий и социально-экономических характеристик. В концептуальном аспекте рассматриваемая платформа создана на принципах технологии *SOTER* (*SOil and TERain*) (Столбовой и др., 1996), которая дополнена элементами теории информационной базы классификаций почв (Шишов и др., 1985). В техническом аспекте Платформа оперирует средствами QGIS.

Субъект/муниципальный реестр почвенных ресурсов включает:

1) научно-методические основы формулирования целевых задач развития сельскохозяйственного производства региона;

2) методы построения реестра почвенных ресурсов субъекта РФ, как современной цифровой геоинформационной базы почвенно-ресурсных данных региона, включая выбор семантических параметров и создание геометрической организации данных;

3) систему моделей решения задач развития сельскохозяйственного производства региона, включая:

- индикаторы качества почвенных ресурсов пахотных земель;
- оценку качества почвенных ресурсов для производства сельскохозяйственных культур;
- определение качества почв для кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения;
- выделение особо ценных продуктивных сельскохозяйственных земель;

- приоритетность вовлечения неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот;
- приоритетность выбора земель для проведения агроулучшающих мероприятий, на примере выполнения известкования избыточно кислых почв;
- паспорт качества почв земель сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Показано, что Реестр является необходимым документом, обеспечивающим развитие сельскохозяйственного производства.

Литература

Петросян Р.Д., Столбовой В.С., Ильин Л.И. и др. Реестр почвенных ресурсов Владимирской области. 2021. Версия 1.0 / Кол. монография. Иваново: ПресСто, 288 с. ISBN 978-5-6046374-9-4; DOI 10.51961/978560437494

УДК 631.416.8

НОРМИРОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ: НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ

**Пинский Д.Л.¹, Шарый П.А.¹, Манджиева С.С.², Минкина Т.М.²,
Дудникова Т.С.², Мальцева А.Н.¹, Переломов Л.В.³**

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино
e-mail: pinsky43@mail.ru;

² Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
e-mail: tminkina@mail.ru.

³ Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула
e-mail: perelomov@rambler.ru.

В многофакторном вегетационном эксперименте изучено влияние состава и свойств чернозема обыкновенного (ЧО), серой лесной почвы (СЛП) и почвенно-песчаных субстратов (ППС) на их основе, загрязненных ацетатом меди в дозах 0, 250, 500, 1000 и 2000 мг·кг⁻¹ на морфометрические показатели (ММП) проростков ярового ячменя сорта «Ратник». Хорошо отмытый HCl, водопроводной и дистиллированной водой, и просеянный через сито 1 мм речной песок использовался как относительно инертный наполнитель субстратов в дозах 0, 25, 50 и 75%. Добавки песка к почвам изменили количественные показатели субстратов, но сохранили качественные свойства оставшихся компонентов почв. Показано, что при дозах песка < 25% растения развивались лучше, чем в контрольных образцах почв за счет улучшения водно-воздушного режима. Всхожесть и энергия прорастания семян, а также длина корней, надземной ча-

сти (НЧ) и сухая биомасса растений (СБР) сложным образом зависели от концентрации C_u в субстратах, а также их буферности по отношению к тяжелым металлам (ТМ). Установлено наличие двух механизмов влияния C_u на развитие растений: метаболического при $C_{Cu} < 500 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы и диффузионного – при $C_{Cu} > 500 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Во всех случаях растения развивались лучше на ЧО и его субстратах, чем на СЛП и ее субстратах. Это явление связали с более высокой буферностью ЧО к тяжелым металлам, чем СЛП. Чувствительность ММП растений к изменяющимся условиям уменьшалась в ряду: длина НЧ \geq длина корней \geq СБР. Была рассчитана буферность субстратов к ТМ по В.Б. Ильину (1995). Она учитывала содержание гумуса, физической глины, подвижных Fe+Al, карбонатов и pH. С помощью регрессионного анализа экспериментальных данных построено уравнение множественной регрессии, объединяющее три показателя: ММП растений, концентрацию C_u в субстратах и буферность почв и субстратов по отношению к ТМ с коэффициентом корреляции $R = 0.947$ и $R^2 = 0.887$ при $P < 10^{-6}$. Всего 40 точек. Получено уравнение для оценки предельно допустимых концентраций C_u в почвах, показывающее, что ПДК не есть фиксированная величина, а непрерывная функция концентрации поллютанта и буферности почв. Показано хорошее соответствие расчетных ПДК, имеющимся в литературе данным.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-29-05265.

УДК 631.48

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ВОД ИНТАКТНЫХ И ПИРОГЕННЫХ ПОДСТИЛОК СОСНЯКА ЛИШАЙНИКОВОГО (НА ПРИМЕРЕ СЫМДУБЧЕСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ)

Прокушкин А.С.¹, Дымов А.А.²

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
e-mail: prokushkin@ksc.krasn.ru

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
e-mail: aadymov@gmail.com

Растворенное органическое вещество (РОВ) представляет собой одну из наиболее подвижных и биогеохимически активных фракций среди пулов почвенного органического углерода. Наибольшая продукция РОВ в почвах, как правило, приурочена к органическим горизонтам как в результате его выщела-

чивания из свежего растительного опада, так и максимальной микробиологической активности в них. Лесные пожары существенным образом трансформируют как количественные, так и качественные характеристики органического вещества, аккумулируемого в горизонте лесных подстилок. Вместе с тем, исследования роли пирогенного фактора в формировании подвижного пула С (РОВ) и его качественного состава в сосновых лесах Средней Сибири отсутствуют, что затрудняет оценку отклика бюджета углерода этих биогеоценозов на происходящие климатические изменения и, в частности, рост частоты и интенсивности пожаров.

Целью настоящего исследования был анализ сезонной динамики количественных (концентрации и поток) и качественных (спектральные свойства) характеристик РОВ, формирующегося в подстилках интактного (неповрежденно-го пожаром) и подвергнутого огневому воздействию (низовой пожар 2018 г.) сосняка лишайникового. Для оценки миграции органического вещества из органогенных горизонтов осенью 2019 г. была произведена закладка лизиметрических колонок (три «монолита» органического горизонта почвы). Отбор инфильтрационных вод производился на протяжении двух лет с начала снеготаяния до момента промерзания. В период снеготаяния отбор проб осуществлялся каждые четыре часа, а в последующий летне-осенний период, при дождевых осадках, ежедневно. Отбор инфильтрационных вод сопровождался измерением их объема и фильтрацией (GF/F 0.7 мкм). В лабораторных условиях измерены следующие показатели: концентрация растворенного органического углерода (РОУ: анализатор ТОС vario cube) и его спектральные свойства (УФ-вид: Cary 100).

В течение безморозного периода концентрации РОУ в инфильтрационных водах интактных и пирогенных подстилок сосняков характеризуются тенденцией роста. Наиболее высокие концентрации в водах интактных подстилок отмечаются в конце вегетационного периода (>100 мг С/л), тогда как пиковые значения у поврежденных пожаром приходятся на середину вегетации. Усредненная за весь летне-осенний период концентрация РОУ составила, соответственно, в интактных и пирогенных подстилках 100.1 (SD=49.7) и 34.3 мг С/л (SD=26.1). Годовой кумулятивный поток РОУ в 2020 г. в сосняках достиг 12.6 г С/м² в контроле и 7.6 г С/м² на гари. Максимальное количество РОВ, выщелачиваемого при поступлении осадков, ограничивается величиной приблизительно 1 г С/м² в интактных подстилках, а у поврежденных пожарами – 0.6 г С/м².

В период активного снеготаяния РОВ лизиметрических вод подстилок, подвергнувшись пирогенному воздействию, имеет наиболее высокую степень ароматизации ($SUVA = 3.24 \pm 0.67$ л/мгС/м) по сравнению с интактными

($SUVA = 2.64 \pm 0.27$ л/мгС/м), что предполагает формирование пула подвижного ароматического РОВ в результате деградации пирогенного ОБ в процессах промерзания-оттаивания. Молекулярный вес РОВ (значения SR (спектральное отношение)) пирогенных подстилок также максимален в этот период. В интактных подстилках, наоборот, период снеготаяния характеризуется наиболее низкими значениями $SUVA$ и SR , что предполагает формирование в зимний период значительного пула РОВ в результате лизиса микробной биомассы. В раннелетний период (июнь) степень ароматизации и молекулярный вес РОВ повышены, свидетельствуя о преимущественно абиогенном формировании его пула при относительно низких температурах. С ростом последних отмечается снижение ароматизации РОВ, что указывает на возрастание доли РОВ микробного происхождения. При этом молекулярный вес РОВ инфильтрационных вод у пирогенно-трансформированных органических горизонтов достаточно стабилен на протяжении всего безморозного периода при достоверно более высоких его значениях, что предполагает более низкую микробиологическую активность в пирогенно-трансформированных подстилках.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №19-29-05111-мк.

УДК 631.48

ИНДИКАТОРЫ КАЧЕСТВА ПОЧВ В ГОСУДАРСТВЕННОМ МОНИТОРИНГЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ РФ

**Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Гребенников А. М.,
Шилов П. М., Оглезнев А.К.**

ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», Москва

Почвы, наряду с атмосферным воздухом, поверхностными и грунтовыми водами, признаны одним из компонентов, контролирующих качество окружающей среды (Постановление правительства ..., 2019). Качество воды и воздуха определяется, главным образом, степенью загрязнения, которая непосредственно влияет на потребление и здоровье человека и животных или на природные экосистемы (ГОСТ 17.4.3.06-86; DIN EN ISO 11269-2-2013). Под термином «качество» почв сельскохозяйственных угодий признается совокупность природных и почвенных условий, обуславливающих их способность удовлетворять потребности производства сельскохозяйственных культур (ИСО 84.02, 1986).

В настоящее время вводятся новые определения качества почв, такие как здоровье почв, почвенные услуги/сервисы, почвенные риски (Столбовой и др., 2022). В отечественных и зарубежных научных публикациях перечисленные

термины часто взаимосвязаны и взаимозаменяемы. Так, на сайте Национальной охраны природных ресурсов США приводится такое определение: «Здоровье почвы, также называемое качеством почвы, определяется как постоянная способность почвы функционировать как жизненно важная живая экосистема, которая поддерживает растения, животных и людей» (Soil Health, NSCS USDA).

Качество почв выступает центральной концепцией в принятии Государственных программ в области охраны и рационального использования сельскохозяйственных угодий РФ (Реестр индикаторов ..., 2021). Это связано с переходом РФ на экономические подходы управления сельскохозяйственным производством, которые следуют правилу «инвестиции в лучшие почвы для повышения эффективности вложений».

Концепция «Качества почв...» является частью новой Интегральной цифровой платформы «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий РФ» (Иванов, Столбовой, 2022). Качество почв определяется в единой шкале для всей территории РФ в баллах относительного качества почв (бонитета) и/или нормативной урожайности зерновых культур. Перечень индикаторов качества почв отвечает требованиям мониторинга сельскохозяйственных земель, включая использование современных информационных технологий, геоинформационных платформ и программных средств (Концепция ..., 2010). Кроме того, перечень индикаторов согласуется с параметрами модели кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения (Сапожников и др. 2012; Методические указания..., Приказ № П/0336 от 17.12.2021 г.). Обновление значений индикаторов происходит каждые 5 лет в рамках регламента работ государственной системы агрохимического обслуживания сельского хозяйства при МСХ РФ.

В число индикаторов качества почв входят три группы: I. Индикаторы агроклиматических условий: 1. *Агроклиматический потенциал*. II. Индикаторы свойств почв: 2. *Содержание гумуса* в пахотном слое по методу Тюрина. 3. *Мощность гумусового горизонта*: в дерново-подзолистых пахотных почвах соответствует мощности горизонта A1 или Aпах.; в серых лесных и бурых лесных пахотных почвах соответствует толщине поверхностного слоя, занимаемого горизонтами A1 и A1A2; в пахотных черноземах, лугово-черноземных и каштановых почвах включает слой, состоящий из A и B1 горизонтов. 4. *Содержание физической глины* в пахотном слое: содержание фракций мелкозема размером менее 0.01 мм в %. III. Индикаторы негативных показателей почв: 5. *Легкий гранулометрический состав*: преобладает песчаная фракция (частицы 0.05–1.0мм). 6. *Засоление* почвы: содержание легкорастворимых солей. 7. *Солонцеватость*: содержание обменного натрия в

почвенном поглощающем комплексе более 5% от емкости обмена. 8. *Переувлажненные минеральные почвы*: содержание влаги превышает 85% от предельной полевой влагоемкости при тяжелом гранулометрическом составе и 95% при легком гранулометрическом составе. 9. *Водная эрозия*: вынос, перенос и переотложение почвенной массы. 10. *Каменистость и щебнистость*: содержание в почве фракций, размер частиц которой превышает 3 мм и 1–3 мм соответственно. 11. *Карбонатность*: содержание в почве карбоната кальция в количестве, превышающем 2%. 12. *Выщелоченность черноземных почв*: промытость горизонтов (А + АВ) от карбонатов и других растворимых веществ. 13. *Оподзоленность черноземов*: наличие осветленной, мучнисто-белесой присыпки, покрывающей структурные отдельности в нижней части горизонта А и в верхней части переходного горизонта В; *выщелоченность* почвенного профиля от карбонатов (и других растворимых веществ) на глубину, превышающую 1–1.5 м. 14. *Уплотнение гумусовых горизонтов* в результате движителей сельскохозяйственной техники.

Литература

Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Р33 Версия 1.0 / Коллективная монография. Иваново: ПресСто, 2021. 260с. DOI 10.51961/9785604637401. ISBN 978-5-6046374-0-1

УДК 631.4 +94(470)''17/20''

ИЗМЕНЕНИЕ УЧЕНИЙ О ПОЧВЕ В ИСТОРИЧЕСКОЙ РЕТРОСПЕКТИВЕ

Степанова Л.Г.

Кубанский государственный университет, Краснодар
e-mail: liliya_sepanova@list.ru

Почва на протяжении веков была главным природным ресурсом. В традиционном обществе от плодородия почвы зависело не только благосостояние, но и само существование многих хозяйств. Народный опыт использования для земледелия определенных видов земель вырабатывался веками и передавался от поколения к поколению. Первая классификация почв в России на «добрую», «среднюю» и «худую» на государственном уровне стала использоваться во время валовых описаний земель в XVI в. Однако еще в XV в. писцы во время писцовых описаний различных территорий государства использовали принцип «одабривания» земли, увеличивая размер налогов для хозяйств на добрых зем-

лях и уменьшая его на менее плодородных. Новые понятия такие как песок, глина и чернозем стал употреблять в своих исследованиях М.В. Ломоносов. При Генеральном межевании земель Российской империи, начавшемся в конце XVIII в. и продолжавшемся до середины XIX в., землемеры составляли Экономические примечания к планам, в которых на основании «сказок» местного населения и собственных наблюдений фиксировали механический состав грунта в размежеванных владениях. Грунт земли уже характеризовался как иловатый с песком, каменистый, песчаный с камнем. Характеристика плодородия грунта содержала и старые понятия о «доброте» и «худобе» земли, которые использовались при оценке получаемых на ней урожаев: к плодородию средственна, к плодородию не способна. Однако представления о качестве земли по-прежнему зависели в большей степени от трудоемкости ее обработки и в меньшей степени от ее реального плодородия. Научные основы изучения почв, заложенные В.В. Докучаевым, позволили рассмотреть почву как уникальное природное образование, обладающее определенным строением, составом и свойствами. Разработанная В.В. Докучаевым оценка почв с 1895 г. начала широко применяться в земских исследованиях. Внедряя новые подходы, российские почвоведы изучали почву уже не только как верхний слой пахотной земли. Они обращали внимание на изучение строения почв и их цвет, имеющиеся органические вещества, рассматривали влияние рельефа и коренной материнской породы. При изучении почвенного покрова использовался метод, разработанный К. Д. Глинкой, основанный на минералогических исследованиях тонких фракций почв. Почвенные исследования проводились в многих губерниях Российской империи. Итогом работы полевых экспедиций почвоведов стала качественная оценка сельскохозяйственных земель. Участникам экспедиций удалось исследовать геохимический и минералогический состав почв в различных губерниях России, а затем составить почвенные карты различных регионов. Подготовленные к изданию работы были выполнены в рамках русской школы почвенной минералогии. Проведенное нами исследование базируется на первых русских земельных кадастрах – писцовых книгах и материалах Генерального межевания, а также отчетах первых русских почвоведов о результатах полевых экспедиций. Оно позволило сопоставить источники различных эпох о качестве и плодородии земли и проследить, каким образом менялось содержание понятий ее «доброты» и «худобы». Данные полевых исследований, содержащиеся в почвенно-геологических очерках конца XIX – начала XX в., в сравнении с материалами Экономических примечаний к Генеральному межеванию земель и сведениями писцовых книг предоставляют возможность выявить объективные параметры на конкретных территориях, влиявшие на оценку качества

земли в предыдущие столетия. Материалы полевых исследований почвоведов, внесшие большой вклад в становление научного почвоведения, на сегодняшний день являются важным историческим источником, который предоставляет возможность выяснить, какие типы почв активно использовались в земледелии на рубеже XIX–XX вв., проследить преемственность в освоении земельных угодий и в землепользовании, выявить как формировались различные представления о плодородии земли и научные учения о почве.

УДК 56.074.6

ПЕДОЛИТОГЕННАЯ ПАМЯТЬ КАК ОТРАЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗНОПЕРИОДНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИТМОВ ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА

Сычева С.А.

Институт географии РАН, Москва

e-mail: sychevasa@mail.ru

Позднеплейстоценовые и голоценовые почвы отличаются разной степенью и продолжительностью развития. Они являются отражателями влияния разнопериодных климатических ритмов плейстоцена и голоцена. Широко известно, что основные ритмы плейстоцена: 450-, 115–100 (межледниковье-оледенение), 41-, 23–19-тысячелетние (два последних – ритмы Миланковича) и голоцена: ~1500–2000- (ритмы Бонда-Шнитникова), ~500-, 90-летние и другие находят свое проявление в изменениях признаков многих компонентов и процессов био-, лито- и геосферы. Ярким проявлением климатических изменений в четвертичном периоде является чередование в разрезах почв и отложений: лесов, покровных суглинков. Почвы отражают не только экологические условия их формирования, наиболее благоприятные для развития биоты, но и показывают масштабность климатического ритма: его длительность и амплитудность. Почвы - специфические биокосные системы, записывают в своих свойствах и организации основные процессы биосферно-геосферных взаимодействий, происходящие на фоне разнопериодных климатических ритмов. Их эволюция во времени отражает определенные стадии ритмов с наиболее устойчивыми и благоприятными условиями для развития растительности. В разрезах почвы чередуются с породами: лессами, покровными, делювиальными суглинками, многие из которых образованы из разрушенных почв или обладают признаками инициального почвообразования. Породы отражают стадии климатических ритмов с неблагоприятными экологическими условиями. Чем более развита почва, тем

более длительное время она формировалась и фиксирует более длительное и глубокое потепление. Ее генетический тип отражает климатические показатели, главные из которых температура и влажность. Специфика записи ландшафтной и климатической информации в почвах отличается от седиментационного типа записи. У них разная разрешающая способность в пространстве и времени. Основные типы носителей почвенной памяти: морфоны и горизонты, почвенные профили и катены, сопоставлены с компонентами и особенностями литогенной записи. Исследование датированных позднеплейстоценовых и голоценовых почв и применение морфо-аналитических методов позволили выявить основные механизмы и скорости развития почв и почвоподобных образований. Выделены уровни организации четвертичных почв: от эмбриональных почв до сложных почвенных комплексов и свит.

Изучение четвертичных почв разной степени развития, как отражателей разных по продолжительности и амплитуды климатических сигналов, является новым направлением в эволюционном почвоведении и палеопедологии. В связи с получением детальных записей палеоклиматических событий по океаническим колонкам и ледниковым кернам, данное направление имеет широкий отклик в мировой науке. Именно расшифровка подробных почвенно-литологических колонок в транзитно-аккумулятивных и аккумулятивных ландшафтах позволяет получить детальные картины изменения климата в пределах суши.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119022190169-5 (FMGE-2019-0006).

УДК 551.89, 911.53

**ПОЧВЕННО-СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ АРХИВЫ СКЛОНОВ, БАЛОК
И ПОЙМ КАК ПАМЯТЬ О ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННОЙ
ЭВОЛЮЦИИ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ
НА ВОДОСБОРАХ В ГОЛОЦЕНЕ**

**Сычева С.А.¹, Ершова Е.К.², Пономаренко Е.В.³, Пушкина П.Р.¹,
Седов С.Н.⁴, Хохлова О.С.⁵**

¹ Институт географии РАН, Москва
e-mail: sychevasa@mail.ru

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
e-mail: ekaterinagershova@mail.ru

³ Университет Оттавы, Оттава, Канада
e-mail: eponomarenko@yahoo.com

⁴ УНАМ, Мехико, Мексика

e-mail: serg_sedov@yahoo.com

⁵ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино
e-mail: alexkh1@sares-net.ru

Реконструирована история развития ландшафтов и систем землепользования на северной границе лесостепной зоны России (бассейн реки Тускарь, Курская область). Междисциплинарный подход включает геоморфологические, палеопедологические, микроморфологические, радиоуглеродные и палеоботанические анализы для изучения почвенно-осадочных серий пойм (Шумская и Жерновец), склонов (Переверзево) и балок (Сеновая). Серии отложений и почв в аккумулятивных и трансаккумулятивных архивах являются одним из наиболее полных и надежных источников информации не только об изменениях климата, эволюции экосистем в голоцене, но и об истории землепользования.

Формирование поймы и новой овражно-балочной сети в позднеледниковье заложило геоморфологическую основу голоценовых ландшафтов. Аллювий, пролювий и делювий частично заполняли пойму и овраги позднего плейстоцена. В раннем голоцене, при ограниченном осадконакоплении, на стабильной поверхности новообразованных форм рельефа образовалась хорошо развитая почва – лугово-глеевый фэйозем. Его 14-С возраст составляет 8.7–8.1 тыс. лет кал. н.э. Эта палеопочва широко распространена не только в лесостепной зоне Русской равнины, но и во всем мире. В начале атлантического периода она эволюционировала в черноземно-луговую почву. Во время засух, в результате сильных пожаров и усиленной эрозии, эта палеопочва в поймах рек и на дне балок была погребена под аллювием и пролювием. Несмотря на в целом теплый и сухой климат атлантического периода, когда преобладали открытые

степные ландшафты и формировались черноземы, отмечается эпизод облесения района в связи с увеличением увлажненности климата. Склоны были покрыты листовыми лесами с дубом и липой. Это привело к образованию серой почвы со вторым гумусовым горизонтом, о чем свидетельствуют гумусово-глинистые кутаны в горизонте Ah. Во время засух периодически возобновлялись сильные пожары, которые сопровождались последующим катастрофическим увеличением стока и накоплением пролювия на дне оврагов. Пожары случались около 8.1; 7.4 и 5.2 тыс. лет н.э., о чем свидетельствуют находки углей дуба и железисто-марганцевых конкреций с углеродистой сердцевинкой в делювиальных суглинках. Дуб сохранялся на склонах, в то время как другие части водосбора были практически безлесными в оптимум голоцена. В позднем голоцене процесс облесения возобновился. Однако около 2.8–2.5 тыс. лет назад на исследуемой территории начало распространяться пашенное земледелие, которому предшествовало придомное земледелие в эпоху бронзы. В непосредственной близости от места исследования находились многочисленные городища и селища носителей скифской культуры (РЖВ). Вырубка лесов и распашка земель деревянным рало вызвали незначительную эрозию почвы и положили начало накоплению агроделювия на дне оврагов и аллювия в пойме. С появлением железных насошников на деревянных ралах глубина вспашки увеличилась. В конце РЖВ площади очищенных от леса участков на водосборах были расчищены под пахотные земли. Начало непрерывной эрозии и интенсивного повторного осажде-ния почвенного мелкозема, содержащего пыльцу сорняков и культурных злаков, хронологически коррелирует с экспансией населения черняховской и киевской культур в этот регион. С тех пор сельскохозяйственное использование водосборной площади и антропогенная вырубка лесов продолжались.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект N19-29-05024мк.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Резолюция VIII съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева	13
Пленарные доклады	
<i>Шоба С.А.</i> Современные вызовы почвоведения – краткие итоги и перспективы	18
<i>Красильников П.В., Савин И.Ю., Васенёв И.И., Семенов И.Н., Шоба С.А.</i> Устойчивое управление почвенными ресурсами и продовольственная безопасность России	22
<i>Дымов А.А., Десяткин Р.В., Десяткин А.Р., Лаптева Е.М., Каверин Д.А., Панюков А.Н., Денева С.В., Прокушкин А.С., Матышак Г.В., Гончарова О.Ю., Конюшков Д.Е., Хохлов С.Ф., Карелин Д.В., Лупачев А.В., Милановский Е.Ю., Долгих А.В., Добрянский А.С., Зазовская Э.П., Габов Д.Н., Шишков В.А., Горячкин С.В.</i> Антропогенные и постантропогенные изменения почв севера России	26
<i>Андроханов В.А., Смоленцев Б.А., Соколов Д.А., Смоленцева Е.Н., Якименко В.Н.</i> Состояние и перспективы развития почвенных и агрохимических исследований в Сибири	31
<i>Кирюшин В.И., Лукин С.В., Дубачинская Н.Н., Минаев Н.В.</i> Почвенно-экологические проблемы адаптивно-ландшафтного земледелия	46
<i>Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Семенов М.В., Никитин Д.А.</i> Биология почв: достижения и перспективы развития	52
<i>Чуков С.Н., Перминова И.В., Заварзина А.Г., Абакумов Е.В., Холодов В.А., Лодыгин Е.Д.</i> Органическое вещество почв: проблемы и задачи изучения	57
<i>Иванов А.Л., Кулик К.Н., Столбовой В.С., Хитров Н.Б., Конюшков Д.Е.</i> Методология мониторинга учета баланса углерода в почвенных экосистемах и агролесоконструкциях в условиях изменения климата	64
<i>Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Иванова Е.А.</i> Почвенные коллекции как основа почвенно-экологического мониторинга	69

<i>Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Борисов А.В., Мергелов Н.С., Калинин П.И.</i> Палеопочвенные архивы геологического и исторического прошлого: современное состояние и перспективы	77
<i>Шамрикова Е.В., Красильников П.В., Остинелли М.</i> ГЛОСОЛАН как международная многоуровневая аналитическая система гармонизации почвенных данных для эффективного землепользования	84

**Тезисы докладов,
дополнительно включенные в программу работы
VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева**

<i>Алексеева Т.В.</i> Почвы в девоне, их экстремальность и разнообразие	88
<i>Анисимов В.С., Анисимова Л.Н., Санжаров А.И., Корнеев Ю.Н., Дикарев Д.В., Фригидов Р.А., Крыленкин Д.В.</i> Изучение форм нахождения и подвижности Cd в системе «почва-почвенный раствор-растение» с применением радиоактивной метки ¹⁰⁹ Cd	90
<i>Бауэр Т.В., Минкина Т.М., Цицуашвили В.С.</i> Диагностика видообразования тяжелых металлов в техногенно трансформированных почвах	92
<i>Бурачевская М.В., Манджиева С.С., Барахов А.В., Лобзенко И.П.</i> Влияние биочара на поглощение и прочность удерживания меди черноземом обыкновенным карбонатным	93
<i>Варламов Е.Б., Лебедева М. П., Чурилин Н. А., Мусаэлян Р.Э.</i> Профильное распределение минералов в сопряженных почвах солонцовых комплексов с плоскозападинным микрорельефом Северного Прикаспия	95
<i>Воробьев Н.И., Свиридова О.В., Пухальский Я.В., Пищик В.Н., Ладан С.С.</i> Анализ почвенных агрохимических данных с помощью искусственной нейронной сети	97
<i>Гольева А.А., Мергелов Н.С., Энговатова А.В., Фазульдинова Н.М.</i> Педоантракологические исследования разновозрастных пахотных почв и культурных слоев центральной России	98
<i>Гродницкая И.Д., Пашкеева О.Э., Старцев В.В., Горбач Н.М., Дымов А.А.</i> Послепожарное формирование микробиомов торфяных олиготрофных почв в Средней Сибири и Республике Коми	100

<i>Елькина Г.Я., Лаптева Е.М., Лиханова И.А., Смотрина Ю.А., Виноградова Ю.А., Ковалева В.А., Перминова, Е.М., Холопов Ю.В.</i>	102
Физико-химическое и биологическое состояние постагрогенных подзолистых почв средней тайги	
<i>Жукова Е.А., Аль Меклафи Я.Ф.А., Надпорожская М.А., Стадник Е.П., Петрова В.С.</i>	103
Эдафические условия летнего сада	
<i>Иванов А.Л., Столбовой В.С.</i>	105
Интегральная цифровая платформа: «Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий Российской Фе- дерации»	
<i>Иванова Е.А., Зверев Е.О., Кимеклис А.К., Гладков Г.О., Карпова Д.В., Андронов Е.Е., Абакумов Е.В.</i>	109
Микробиомы почв посттехногенных ландшафтов северных широт	
<i>Игловиков А.В.</i>	111
Развитие продуцентов на песчаных карьерах в зоне ле- сотундры Крайнего Севера	
<i>Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хорошаев Д.А., Жмурин В.А.</i>	113
Температурная чувствительность дыхания почв в лесных экосистемах южного Подмосковья	
<i>Лаптева Е.М., Виноградова Ю.А., Ковалева В.А., Перминова Е.М., Захожий И.Г., Далькэ И.В., Смотрина Ю.А., Генрих Э.А.</i>	114
Влияние агрогенного и постагрогенного воздействия на биологические свойства подзолистых почв (на примере средней тайги Республики Коми)	
<i>Медведева М.В.</i>	117
Эколого-микробиологический мониторинг антропогенно-нарушенных почв Карелии	
<i>Надпорожская М.А., Мухиев Б., Мирин Д.М., Журавлева В.И., Стадник Е.П., Трунова Е.О.</i>	119
Запасы углерода в сосновых лесах: органо- и пиро-?	
<i>Петросян Р.Д., Столбовой В.С., Гребенников А.М., Духанин Ю.А., Шилов П.М.</i>	120
Реестр почвенных ресурсов субъекта РФ (Владимирская область)	
<i>Пинский Д.Л., Шарый П.А., Манджиева С.С., Минкина Т.М., Дудникова Т.С., Мальцева А.Н., Переломов Л.В.</i>	122
Нормирование тяжелых металлов в почвах: новый подход к решению проблемы	

<i>Прокушкин А.С., Дымов А.А.</i> Сравнительная характеристика сезонной динамики растворенного органического вещества лизиметрических вод интактных и пирогенных подстилок сосняка лишайникового (на примере Сымдубческого междуречья)	123
<i>Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Гребенников А.М., Шилов П.М., Оглезнев А.К.</i> Индикаторы качества почв в государственном мониторинге сельскохозяйственных угодий Российской Федерации	125
<i>Степанова Л.Г.</i> Изменение учений о почве в исторической ретроспективе	127
<i>Сычева С.А.</i> Педолитогенная память как отражение влияния разнопериодных климатических ритмов плейстоцена и голоцена	129
<i>Сычева С.А., Еришова Е.К., Пономаренко Е.В., Пушкина П.Р., Седов С.Н., Хохлова О.С.</i> Почвенно-седиментационные архивы склонов, балок и пойм как память о природно-антропогенной эволюции лесостепных ландшафтов на водосборах в голоцене	131

Научное издание

ПОЧВЫ – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС РОССИИ

Материалы пленарных докладов
VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева
и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв

Сыктывкар, 2020-2022 гг.

Часть 1
(расширенная и дополненная)

*Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института биологии
Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук*

Оригинал-макет и корректура: А.М. Вурдов

Издание электронное. DOI: 10.31140/book-2022-05