



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ЛЕСНОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Материалы X Всероссийской научной конференции
по лесному почвоведению с международным участием,
посвященной памяти Розалии Михайловны Морозовой (1928–2017),
ученого-почвоведа, почетного члена Общества почвоведов им. В.В. Докучаева

Петрозаводск, 18–22 сентября 2023 г.



Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»

Институт леса КарНЦ РАН

Институт биологии КарНЦ РАН

МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева»

Научный совет РАН по почвоведению

Научный совет РАН по лесу

ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (РИТМ углерода)



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ЛЕСНОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Материалы X Всероссийской научной конференции
по лесному почвоведению с международным участием,
посвященной памяти Розалии Михайловны Морозовой (1928–2017),
ученого-почвоведа, почетного члена Общества почвоведов им. В.В. Докучаева

Петрозаводск, 18–22 сентября 2023 г.

Научное электронное издание

Петрозаводск
КарНЦ РАН
2023

ISBN 978-5-9274-0974-7

© Коллектив авторов, 2023

© Институт леса КарНЦ РАН, 2023

© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2023

УДК 630*114(063)
ББК 43.4
А43

Редакционная коллегия:

канд. биол. наук *С. Г. Новиков*, канд. биол. наук *М. В. Медведева*,
канд. биол. наук *Г. В. Ахметова*, канд. биол. наук *А. Н. Солодовников*,
канд. биол. наук *А. В. Мамай*, канд. с.-х. наук *Е. В. Мошкина*, *А. К. Сараева*

Издано по решению Ученого совета Института леса КарНЦ РАН

Конференция проведена при финансовой поддержке важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

А43 **Актуальные** вопросы теории и практики лесного почвоведения : материалы X Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием, посвященной памяти Розалии Михайловны Морозовой (1928–2017), ученого-почвоведца, почетного члена Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Петрозаводск, 18–22 сентября 2023 г. : научное электронное издание / редакционная коллегия: С. Г. Новиков [и др.] ; Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН», Институт леса КарНЦ РАН, Институт биологии КарНЦ РАН, МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева», Научный совет РАН по почвоведению, Научный совет РАН по лесу, ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (РИТМ углерода). – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. – 1 DVD-ROM. – Систем. требования: PC, MAC с процессором Intel 1,3 ГГц и выше; Microsoft Windows, MAC OSX; 256 Мб (RAM); видеосистема: разрешение экрана 800×600 и выше, графический ускоритель (опционально); мышь; Adobe Reader; дисковод DVD-ROM. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-9274-0974-7

В сборнике представлены материалы докладов X Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению, которые посвящены фундаментальным и прикладным проблемам лесного почвоведения.

Издание предназначено для почвоведов, лесоводов, экологов, для преподавателей и студентов соответствующих специальностей, читателей, интересующихся исследованием почв, особенностями их строения и образования и другими вопросами почвенно-биологической направленности.

УДК 630*114(063)
ББК 43.4

Текстовое (символьное) электронное издание

Системные требования: PC, MAC с процессором Intel 1,3 ГГц и выше; Microsoft Windows, MAC OSX; 256 Мб (RAM); от 500 Мб свободного пространства на жестком диске; видеосистема: разрешение экрана 800×600 и выше, графический ускоритель (опционально); мышь; Adobe Reader; дисковод DVD-ROM

© Коллектив авторов, 2023
© Институт леса КарНЦ РАН, 2023
© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2023

Для создания электронного издания использованы
ПО Microsoft Word, Adobe Acrobat Pro

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *Н. Н. Сабанцева*
Оформление обложки и этикетки диска *Т. В. Уткина*

Подписано к использованию 11.09.2023. 1 DVD-ROM. 9 Мб.
Тираж 80 экз. Заказ № 775

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11
Телефон (8142) 76-60-40. E-mail: krccras@krc.karelia.ru
URL: <http://www.krc.karelia.ru>

Изготовлено в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11
Телефон (8142) 76-60-40. E-mail: krccras@krc.karelia.ru
URL: <http://www.krc.karelia.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ	12
<i>Апарин Б.Ф.</i> ИНДИКАЦИОННОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ НАУКИ? ...	12
<i>Безкоровайная И.Н., Прокушкин А.С.</i> ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ	14
<i>Герасимова М.И.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ РОССИИ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ	16
<i>Дымов А.А.</i> ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА СВОЙСТВА ПОЧВ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ	18
<i>Кашулина Г.М.</i> ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОДЗОЛОВ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМОВ ВЫБРОСОВ SO ₂ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ	20
<i>Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хорошаев Д.А., Кивалов С.Н., Сапронов Д.В., Мякина Т.Н., Шанин В.Н., Припутина И.В., Фролов П.В., Быховец С.С.</i> МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ CO ₂ ИЗ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ: ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА НЕПРЕРЫВНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	22
<i>Лукина Н.В., Данилова М.А., Копчик Г.Н., Гераськина А.П., Янчилик П.Р., Семенов И.Н., Кузнецова А.И., Кузнецов В.А.</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДИНАМИКИ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ	24
<i>Онучин А.А.</i> СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕХОДА К УСТОЙЧИВОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЛЕСАМИ СИБИРИ	25
<i>Чертов О.Г., Припутина И.В., Шанин В.Н., Фролов П.В., Быховец С.С., Грабарник П.Я.</i> СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ	27
СЕКЦИЯ «ГЕНЕЗИС ЛЕСНЫХ ПОЧВ. РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМИРОВАНИИ И ДИАГНОСТИКЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ»	30
<i>Дыдышко С.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В.</i> ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БУФЕРНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕСНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ	30
<i>Костенко И.В.</i> ГОРНО-ЛЕСНАЯ ОПОДЗОЛЕННАЯ ПОЧВА КАРАБИ-ЯЙЛЫ (ГОРНЫЙ КРЫМ)	32
<i>Лобанова Е.С.</i> ДЕРНОВО-КАРБОНАТНЫЕ ПОЧВЫ ГКУ «ЗАКАМСКОЕ ЛЕСНИЧЕСТВО» ПЕРМСКОГО КРАЯ	34
<i>Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Шмакова К.А.</i> МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ И ТАКСАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ДРЕВОСТОЕВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА И ВОЗРАСТА ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ-МСХА	36
<i>Новиков С.Г.</i> ПОЧВЫ ПЕСЧАНЫХ ДЮН ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАКАЗНИКА «МУРОМСКИЙ»	38
<i>Сабиров А.Т., Ульданова Р.А.</i> ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН	39
<i>Сымпилова Д.П.</i> ДИАГНОСТИКА ПОЧВ С БУРООКРАШЕННЫМ СЛАБОДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ В ГОРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ	41
<i>Ульданова Р.А.</i> ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ПРИБРЕЖНЫХ ЛЕСОВ РЕКИ ВОЛГИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН	43
<i>Чевычелов А.П., Ермолаева С.В., Кузнецова Л.И.</i> ФЕНОМЕНЫ ТАЕЖНО-МЕРЗЛОТНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ	45
СЕКЦИЯ «ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ПОЧВ. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ»	47
<i>Александрова А.Б., Иванов Д.В., Валиев В.С., Зиганшин И.И., Хасанов Р.Р., Солодникова О.М.</i> МЕТАЛЛЫ В ВОДОСБОРНЫХ ПОЧВАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАКАЗНИКА «ШОРСКИЙ»	47

<i>Алексеев И.И., Шейн А.А., Четверова А.А.</i> ПОЧВЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПОЧВАХ ЛЕСОТУНДРЫ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ: ЗАПАСЫ И СТАБИЛЬНОСТЬ	49
<i>Ахметова Г.В.</i> ВЛИЯНИЕ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА СВОЙСТВА ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ ГРУБОГУМУСИРОВАННОГО ПОДБУРА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ	50
<i>Брянин С.В., Иванов А.В., Масютин Ю.А.</i> ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ПИРОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА УГЛЕРОДНЫЕ ПУЛЫ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	52
<i>Гичан Д.В., Тебенькова Д.Н.</i> ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ОСТАТОЧНО-КАРБОНАТНЫХ ПОЧВАХ ЗАБРОШЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ	54
<i>Иванов А.В.</i> ДЫХАНИЕ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	55
<i>Карпечко А.Ю., Мошкина Е.В., Медведева М.В., Туунен А.В.</i> ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКИХ КОРНЕЙ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. В СРЕДНЕТАЕЖНОМ СОСНЯКЕ БРУСНИЧНОМ	58
<i>Кацулина Г.М., Литвинова Т.И., Коробейникова Н.М.</i> ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ПИТАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ	59
<i>Кивалов С.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Хорошаев Д.А., Курганова И.Н.</i> ОЦЕНКА ДЫХАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ЗОНЕ УМЕРЕННО-КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ АНСАМБЛЯ T&P-МОДЕЛЕЙ	61
<i>Киселева В.В., Карминов В.В.</i> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНОГО ПОЛОГА НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА	64
<i>Краснощеков Ю.Н.</i> МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПОЧВАХ СВЕТЛОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ	66
<i>Кузнецов М.А.</i> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВЕСНОГО НАЗЕМНОГО ОПАДА НА ВЫРУБКЕ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА	68
<i>Кузнецов М.А., Осипов А.Ф.</i> ЛЕТНИЕ ПОТОКИ CO ₂ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ХВОЙНЫХ СООБЩЕСТВ	69
<i>Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хорошаев Д.А.</i> ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ: ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ	70
<i>Липатов Д.Н., Манахов Д.В., Щеглов А.И.</i> ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА	72
<i>Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Хорошаев Д.А., Аблеева В.А.</i> ЗИМНЯЯ ЭМИССИЯ CO ₂ ИЗ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННО-КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА	74
<i>Осипов А.Ф.</i> ВЫДЕЛЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ 10-ЛЕТНЕЙ ВЫРУБКИ СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО (СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)	76
<i>Осипов А.Ф., Дымов А.А.</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЫХАНИЯ ТИПИЧНОЙ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ХВОЙНО-ЛИСТВЕННОГО НАСАЖДЕНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ СПЛОШНОЙ РУБКИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)	78
<i>Паюсова И.В., Габов Д.Н., Груздев И.В., Дымов А.А.</i> БЕНЗОЛПОЛИКАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ КАК МАРКЕРЫ ПИРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА	80
<i>Припутин И.В., Шанин В.Н., Фролов П.В., Быховец С.С.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПОД ПОЛИДОМИНАНТНЫМИ ДРЕВОСТОЯМИ	82
<i>Ромашкин И.В., Шорохова Е.В., Капица Е.А., Галибина Н.А., Никерова К.М.</i> ЗАПАСЫ ОСНОВНЫХ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВАЛЕЖЕ В СТАРОВОЗРАСТНОМ СРЕДНЕТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ ЧЕРНИЧНОМ	84

<i>Салихов Ш.К., Гасанов Г.Н., Яхияев М.А., Кичева Ж.О., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С.</i> ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ГОРНОГО ДАГЕСТАНА	86
<i>Сухарева Т.А., Еришов В.В., Иванова Е.А.</i> УГЛЕРОД В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ: СОДЕРЖАНИЕ, ЗАПАСЫ, ДИНАМИКА	88
<i>Телеснина В.М., Семенюк О.В., Богатырев Л.Г.</i> ГОДОВАЯ ДИНАМИКА СВОЙСТВ ПОДСТИЛОК ИСКУССТВЕННЫХ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ	90
<i>Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Смирнов В.Э., Иващенко К.В., Журавлева А.И.</i> ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ ПОД КРУПНЫМ ВАЛЕЖОМ ПОСЛЕ ЕДИНИЧНЫХ И МАССОВЫХ ВЕТРОВАЛОВ В ШИРОКОЛИСТВЕННОМ ЛЕСУ	92
<i>Хомяков Ю.В., Вертебный В.Е., Капица Е.А., Шорохова Е.В.</i> ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА В ТИПИЧНЫХ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ РЕЗЕРВАТА «ВЕПССКИЙ ЛЕС» ...	94
<i>Шешукова А.А., Бахматова К.А.</i> МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ о. ВАЛААМ	96
СЕКЦИЯ «ПОЧВЕННАЯ БИОТА И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ. БИОИНДИКАЦИЯ»	98
<i>Бачура Ю.М.</i> ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ГОМЕЛЬСКОГО РЕГИОНА (БЕЛАРУСЬ)	98
<i>Воробьев Н.И., Пищик В.Н., Попов А.А., Жемякин С.В.</i> НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ БИОКОНСОЛИДАЦИИ МИКРОМИЦЕТОВ И БАКТЕРИЙ ПРИ КОМПОСТИРОВАНИИ КОРЫ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ	100
<i>Гераськина А.П., Шопина О.В., Кузнецова А.И., Терехова Д.А., Тихонова Е.В., Бавшин И.М., Семенков И.Н.</i> ДИНАМИКА ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ И СВОЙСТВ ПОДСТИЛКИ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»	102
<i>Гродницкая И.Д., Антонов Г.И., Сенашова В.А., Полякова Г.Г., Пашкеева О.Э., Пашенова Н.В.</i> МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕМНО-СЕРОЙ ПОЧВЫ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В СОСНЯКАХ ПОГОРЕЛЬСКОГО БОРА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)	103
<i>Давыдова Ю.Ю., Бубнова В.А.</i> ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОСТИ У ПОЧВООБИТАЮЩИХ КОЛЛЕМБОЛ	105
<i>Дитц А.А.</i> ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НА ВЫРУБКАХ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)	107
<i>Князева А.В.</i> БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОЧВ ТРОПИЧЕСКИХ МУССОННЫХ ЛЕСОВ ЗАПОВЕДНИКОВ ВЬЕТНАМА	109
<i>Кузнецова Н.А., Стрючкова А.В.</i> МЕТААНАЛИЗ ЭКОЛОГИИ ПОПУЛЯЦИЙ ПОЧВЕННОЙ КОЛЛЕМБОЛЫ <i>PARISOTOMA NOTABILIS SENSU LATO</i> В ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ	111
<i>Кузьмина Н.П., Ермолаева С.В., Чевычелов А.П.</i> МИКРООРГАНИЗМЫ МЕРЗЛОТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ	113
<i>Медведева М.В.</i> ДЕСТРУКЦИЯ ОПАДА РАСТЕНИЙ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (СРЕДНЕТАЕЖНАЯ ПОДЗОНА КАРЕЛИИ)	115
<i>Новаковская И.В., Патова Е.Н., Сивков М.Д., Дымов А.А.</i> РОЛЬ ПОЧВЕННОЙ ФОТОТРОФНОЙ БИОТЫ В ЗАРАСТАНИИ ОГОЛЕННЫХ СУБСТРАТОВ (НА ПРИМЕРЕ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЛЕСНЫХ И ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ПОЧВ)	116
<i>Патова Е.Н., Сивков М.Д., Дымов А.А., Новаковская И.В.</i> АЗОТФИКСИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ЛЕСНЫХ ВЫРУБОК С РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЫ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)	118
<i>Перминова Е.М., Ковалева В.А., Виноградова Ю.А., Лиханова И.А., Холопов Ю.В., Лаптева Е.М.</i> ДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ХОДЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ВЫРУБКАХ	120

<i>Порохина Е.В., Иншиева Л.И., Лобанова Е.А.</i> ЭНЗИМОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЕСНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ	122
<i>Пятина Е.В.</i> ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МАКРОФАУНЫ ПОЧВ ПОЛИГОНОВ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)	124
<i>Сараева А.К., Мамай А.В., Мошкина Е.В.</i> ВКЛАД МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ И МЕЗОФАУНЫ В ПУЛ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА СРЕДНЕТАЕЖНОГО СОСНЯКА КИСЛИЧНО-ЧЕРНИЧНОГО	126
<i>Севергина Д.А., Гродницкая И.Д., Пашкеева О.Э., Дымов А.А.</i> МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ПОЧВ ВЫРУБОК	128
<i>Сенашова В.А., Гродницкая И.Д., Сорокина О.А., Антонов Г.И.</i> ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР PINUS SP. В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЕННЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ЗОНЕ ШИРИНСКОЙ СТЕПИ	130
<i>Суцук А.А., Калинин Д.С., Матвеева Е.М.</i> СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД ЛЕСНЫХ БИОЦЕНОЗОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: ШИРОТНО-ЗОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ	132
СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ»	134
<i>Гафуров Ф.Г., Коркина И.Н.</i> КРУПНОМАСШТАБНАЯ ПОЧВЕННАЯ КАРТА НИЗКОГОРЬЯ СРЕДНЕГО УРАЛА, ОПЫТ СОЗДАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ	134
<i>Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Фадеева Е.А., Максимова А.Н., Щеникова Д.С.</i> РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	136
<i>Комаров А.А., Кирсанов А.Д., Суханов П.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И ДЗЗ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКОВ ЛЕС-ПОЛЕ ПО NDVI ВЕГЕТАЦИОННОМУ ИНДЕКСУ	138
<i>Куликова А.И., Смирнова М.А.</i> КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»	140
<i>Матыченкова О.В., Матыченков Д.В., Азаренок Т.Н., Дыдышко С.В.</i> ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕДКИХ И УНИКАЛЬНЫХ ПОЧВ ПАХОТНЫХ И ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ОСНОВЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ	142
<i>Нарыкова А.Н., Плотникова А.С.</i> ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА С ПОМОЩЬЮ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ GOOGLE EARTH ENGINE	144
<i>Рязанцев П.А., Ткаченко Ю.Н.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КАРТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ	146
<i>Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Кондрашкина М.И., Дядькина С.Е.</i> ОПРОБОВАНИЕ ПОЧВ ПОД ЛЕСОМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА	148
<i>Сидорова В.А., Конюшкова М.В., Головлева Ю.А., Ильичев И.А., Красильников П.В.</i> ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРИИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ КАРЕЛИИ	150
СЕКЦИЯ «АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ»	152
<i>Акименко Ю.В.</i> ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БУРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТЕТРАЦИКЛИНАМИ	152
<i>Бондаренко Н.Н., Лаптева Е.М., Кызьюрова Е.В.</i> ВОДОРАСТВОРИМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ВЫРУБОК	154
<i>Гончаров Н.В., Прокофьева Т.В., Потапов Д.И.</i> ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ГИДРОФОБНОСТЬ ГОРОДСКИХ ПОЧВ	156
<i>Горбач Н.М., Яковлева Е.В., Дымов А.А.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ (РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СЖИГАНИЮ)	158

<i>Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Миннегалиев А.О., Юркевич М. Г., Бахмет О.Н.</i> ЛИГНОСУЛЬФО-НАТ НАТРИЯ В СМЕСИ С СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВОЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ	160
<i>Евстегнеева Н.А., Тимошенко А.Н., Колесников С.И.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИЙ В БУРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТАЛЛИЕМ	162
<i>Ершов В.В., Сухарева Т.А., Иванова Е.А.</i> ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ	163
<i>Захарова О.Г., Чевычелов А.П.</i> ПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ФОСФАТНОГО СОСТОЯНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ	164
<i>Коркина И.Н., Воробейчик Е.Л.</i> ЛЕСНЫЕ И ПОЙМЕННЫЕ ПОЧВЫ В ГРАДИЕНТЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ФОРМЫ ГУМУСА, ПОЧВЕННАЯ ФАУНА	166
<i>Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Русаков А.В., Симонова Ю.В., Белокопытова М.А., Морозов А.П.</i> СЕКВЕСТРАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ	168
<i>Миннегалиев А.О., Сулейманов Р.Р., Дорогая Е.С., Асылбаев И.Г.</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ, ЗАТОПЛЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ	170
<i>Неведров Н.П., Плотникова О.О.</i> СУКЦЕССИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВАХ ЛЕСОСТЕПИ И ИХ ДИАГНОСТИКА НА МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ УРОВНЕ	171
<i>Огородняя С.А., Красиков С.Р., Кокорева А.А., Дымов А.А.</i> ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ (СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)	173
<i>Осипов А.И.</i> РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	175
<i>Пономарёва Т.В., Пономарёв Е.И.</i> ТЕПЛОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПОЧВ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ	177
<i>Семин Д.Е., Ахметова Г.В., Придача В.Б.</i> ДЫХАНИЕ ПОЧВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ	179
<i>Солодовников А.Н.</i> ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПОДСТИЛОК СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО СКАЛЬНОГО И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯ В УСЛОВИЯХ ПИРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	181
<i>Старцев В.В., Севергина Д.А., Дымов А.А.</i> СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ СПЛОШНОЙ РУБКИ ..	182
<i>Суханов П.А., Комаров А.А., Гостинцева Е.В.</i> АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В КЛАССИФИКАЦИОННОМ АСПЕКТЕ	184
<i>Тихонова Е.Н., Трещевская Э.И., Голядкина И.В., Трещевский И.В.</i> ГУМУСООБРАЗОВАНИЕ ПОД ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ПОЧВ	186
<i>Трухан О.В.</i> ПОЛЕВАЯ ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ТИМОФЕЕВКИ ЛУГОВОЙ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПОСЕВА И НОРМАХ ВЫСЕВА	188
<i>Хвацевский М.И., Качанович П.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТКО Г. БРЕСТА	189
<i>Чебыкина Е.Ю., Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В.</i> ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ МИГРАЦИИ В ПИРОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЛАДОЖСКИЕ ШХЕРЫ»	192
<i>Шахматова Е.Ю.</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕРОГУМУСОВЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ	194
<i>Mikhailchuk N.V., Kachanovich P.V., Azhgirevich A.N., Dashkevich M.M.</i> PECULIARITIES OF THE RADIAL DISTRIBUTION OF LEAD IN SOILS OF DIFFERENT TYPES OF FOREST BIOGEOCENOSES UNDER THEIR AEROTECHNOGENIC CONTAMINATION WITH LEAD-CONTAINING WASTE	196

СЕКЦИЯ «ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ И ОЦЕНКА ПОЧВ»	197
<i>Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В.</i> ЛЕСНЫЕ ЗЕМЛИ В СТРУКТУРЕ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА БЕЛАРУСИ	197
<i>Алтаев А.А., Билтуев А.С., Хутакова С.В.</i> ПОЧВЫ ЕРАВНИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ	199
<i>Алтаев А.А., Хутакова С.В.</i> РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮЖНОГО ХАМАР-ДАБАНА	201
<i>Гаевая Э.А., Тарадин С.А.</i> СТОКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ ЛЕСНЫХ ПОЛОС В СТЕПНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	203
<i>Данилова Н.И., Сапожников П.М.</i> ОЦЕНКА КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ	205
<i>Добрянская С.Л.</i> ВЛИЯНИЕ ЛЕСОПОЛОС НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО	207
<i>Махкамова Д.Ю.</i> ЗАСОЛЕННОСТЬ ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА АГРО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ	209
<i>Позняк С.С.</i> МИКРОЭЛЕМЕНТНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ БРЕСТСКОГО РАЙОНА	211
<i>Толстогозув О.В.</i> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ	213
<i>Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П.</i> ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ИНДИГИРСКО- КОЛЫМСКОЙ ПРОВИНЦИИ СЕВЕРО-ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	215
<i>Трофимова Л.С., Яковлева Е.П.</i> ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЗАПАДНО-КАРЕЛЬСКОГО ОКРУГА СЕВЕРО-ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ	217
<i>Янькова А.А., Старикова М.Ю.</i> ОЦЕНКА СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И ГРАНУЛО- МЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПОД ДРЕВОСТОЯМИ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА И ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ-МСХА ИМ. К. А. ТИМИРЯЗЕВА	219
СЕКЦИЯ «ПОЧВЫ В СИСТЕМЕ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ»	221
<i>Замолодчиков Д.Г., Честных О.В.</i> НОВАЯ ОЦЕНКА БАЛАНСА УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСОВ РОССИИ	221
<i>Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н., Богданов А.П.</i> ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ КАК ФАКТОР УСПЕШНОСТИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ДИСКРЕТНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ ЭКСКАВАТОРАМИ	223
<i>Неронова Я.А., Пеккоев А.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ РОСТА КУЛЬТУР ЕЛИ, СОЗДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	225



Морозова Розалия Михайловна
(1928–2017)

Глубокоуважаемые коллеги!

Конференции, посвященные лесному почвоведению, проводятся в современной России с 2005 года на регулярной основе раз в два года на базах ведущих почвенно-биологических научных институтов. Данные научные мероприятия привлекают внимание не только отечественного, но и зарубежного научного сообщества, они стали площадкой для обсуждений актуальных проблем лесного почвоведения, а также школой для молодых ученых-почвоведов. В 2023 году конференция по лесному почвоведению проходит в Петрозаводске на базе Института леса Карельского научного центра РАН, она является десятой по счету и касается актуальных вопросов теории и практики лесного почвоведения. Эту юбилейную конференцию мы посвящаем одному из известных карельских почвоведов Розалии Михайловне Морозовой, в честь 95-летия со дня ее рождения.

Морозова Розалия Михайловна была одним из основоположников лесного почвоведения в Республике Карелия. Ее жизнь – это хороший пример организации труда, направленного на достижения одной цели – как можно лучше исследовать почвы, понять особенности их строения и образования в природно-климатических условиях Карелии. Родилась Розалия Михайловна 3 сентября 1928 в г. Тейково Ивановской области. В 1951 году она окончила Ленинградский Государственный Университет, работала почвоведом во 2-й Прикаспийской экспедиции. В 1954 году поступила в аспирантуру Карельского Филиала Академии Наук СССР, в 1960 защитила кандидатскую диссертацию на тему «Органическое вещество почв Карелии». Розалия Михайловна долгие годы руководила почвенными исследованиями в Институте леса, более четверти века, с 1962 по 1989 г., была заведующей лабораторией лесного почвоведения и микробиологии Института леса Карельского Филиала Академии Наук СССР. Основные направления ее исследования – лесное почвоведение, генезис и экология почв. Совместно с коллегами (Н.И. Казимировым, С.С. Зябченко и другими) в модельных опытах были проведены исследования биологического круговорота азота и зольных элементов в еловых, сосновых и березовых насаждениях Карелии (1973, 1977, 1978). Ее отличали широта взглядов и комплексный подход в изучении лесных сообществ. Результаты

совместных с Н.И. Казимировым исследований о процессах формирования и накопления органической массы в таежных лесах востребованы сейчас как никогда. Круг ее интересов также касался одного из актуальных и в настоящее время вопросов для Карелии – влияния лесохозяйственной деятельности на лесные почвы и оценки антропогенной трансформации почвенного покрова. Розалии Михайловне принадлежит разработка региональной модификации почвенной классификации 1977 г. для почв Карелии. Ею были составлены почвенные карты и ряд практических рекомендаций по применению минеральных удобрений (1975, 1981, 1984) и освоению лесных земель под сады и огороды (1984, 1991). За период работы в Институте леса ею было опубликовано свыше 200 научных, а также научно-популярных работ, в том числе 8 монографий, среди которых «Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии» (1973) и «Лесные почвы Карелии» (1991) являются настольными книгами не только почвоведов, но и лесоводов, экологов и ботаников. Ее монография «Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии» (1992) является основой для формирования общетеоретических представлений о функционировании ненарушенных таежных экосистем Карелии. За плодотворную работу в области исследования почв Карелии она была награждена медалями юбилейной к 100-летию со дня рождения В. И. Ленина, «Ветеран труда», бронзовой медалью ВДНХ СССР, многими Почетными грамотами, в том числе Президиума ВС КАССР.

Мы вспоминаем Розалию Михайловну как профессионально многогранного человека, что позволяло ей общаться на равных со специалистами различных научных направлений. Она была очень целеустремленным и прозорливым руководителем. Коллеги Р.М. Морозовой, ученики, продолжатели ее дела, все участники конференции ценят вклад Розалии Михайловны в развитие лесного почвоведения и посвящают данную конференцию ее памяти.

*Сотрудники лаборатории лесного почвоведения
Института леса КарНЦ РАН,
Карельское отделение общества почвоведов им. В.В. Докучаева*

ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ

ИНДИКАЦИОННОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ НАУКИ?

Апарин Б.Ф.

*Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева –
Филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва,
soilmuseum@bk.ru*

В развитии любой науки можно выделить периоды рождения, дифференциации и интеграции знаний. При этом, на пути развития, идущем по спирали, можно выделить узловые точки, связанные с качественным переходом знаний на новую степень.

Согласно диалектике, они связаны с возникновением противоречий между количеством накопленных знаний и невозможностью объяснить новые факты с их помощью в рамках существующей парадигмы. История генетического почвоведения является ярким образцом такой логики развития естествознания [3].

Важной движущей силой развития науки о почвах является потребность в решении крупных научных и социально-экономических проблем общества. Все проблемы современности, в первую очередь влияющие на качество жизни человека: дефицит продовольствия, нехватка энергетических ресурсов, глобальное изменение климата, уменьшение биоразнообразия, связаны с использованием почвенных ресурсов. Отсутствие точных знаний этих связей повышает неопределенность в прогнозе возможности обеспечения продовольственной и экологической безопасности в ближайшем будущем для населения как отдельных государств, так и всего человечества в целом. Перед почвоведением возникли вызовы, без ответа на которые у него нет будущего. Ретроспективный анализ сложившейся структуры генетического почвоведения показывает, что в ее рамках, решение названных проблем невозможно. Необходимо сместить акценты в исследовании почв – от количественного накопления знаний к их интеграции для решения фундаментальных научных и социально-экономических проблем.

Направление, в котором возможна генерализация знаний, является индикационное почвоведение. Предметом исследования индикационного почвоведения является почва как носитель информации. Ее обобщенной характеристикой служит информационная емкость (информационный образ) почвы. Почва является носителем разнородной информации о факторах почвообразования, процессах, функциях, об агроресурсном, лесорастительном и экологическом потенциалах.

- Почва – результат процесса почвообразования – самостоятельной формы движения материи, являющейся способом ее существования. Она включает в себя первичные формы (механическая, физическая и химическая) и является основой для появления и развития биологической формы.

- Непрерывность и необратимость почвенной формы движения материи в геологической истории является главным фактором возникновения и эволюции жизни на Земле.
- В почве замыкаются и преобразуются геохимические, энергетические и вещественные потоки в экосистемах. Она является своеобразной биогемембраной.
- Почва – это «долгоживущая» компонента экосистем, своеобразная память ландшафта.
- Почвы – консервативные системы. Они, благодаря высокой буферности, функционально устойчивы к кратковременным антропогенным воздействиям и колебаниям климата.
- Почвы – полифункциональные природные тела, обеспечивающие стабильное состояние экосистем и их биоразнообразие.

Истоки индикационного направления исследования мы находим у В.В. Докучаева, который впервые предложил индикаторы и критерии плодородия, названное им «правоспособность почвы». В последующем, оценка плодородия почв оформилась в особое направление – «бонитировка почв» с его многочисленными ответвлениями. Изучение процессов формирования почв с помощью индикаторов оказалось весьма продуктивным для развития теории почвообразования. Поиск индикаторов типов почвообразования привел к созданию учения о гумусе. Изучение погребенных почв стало основой палеогеографических реконструкций. Примеры можно продолжить.

Базисом всех исследований причинно-следственных связей между почвами и компонентами природной среды являются Докучаевские законы [1]. Согласно Закону всеобщей функциональной связи в природе, сформулированному В.В. Докучаевым [2], все ее компоненты взаимосвязаны, а почва является их функцией (формула (1)).

$$П = f (ГП, Кл, ЖО, Р, Ч^1) \cdot Т, \quad (1)$$

где П – почва; f – функция; ГП – горная порода; ЖО – живые организмы; Кл – климат; Р – растительность, Ч – деятельность человека; Т – время.

Как следствие этого, любые виды воздействия на почву в той или иной степени отражаются и фиксируются в ней. Почва запоминает сигналы (информацию) о динамичных факторах почвообразования. К ним относятся колебания климата (температура, осадки, испарение), сукцессии растительности и антропогенные воздействия. Почвенные индикаторы, являющиеся реакцией на эти воздействия, разнообразны, специфичны и в разной степени информативны [4]. Скорость и степень их проявления различны и определяются при сопряженном мониторинге почв и воздействующих на них факторов.

Ключевым моментом теории индикационного почвоведения является исследование почвенных индикаторов, определяющих разные функции почв (плодородие, депонирование углерода, средообразование и др.). Почвенные индикаторы должны отвечать следующим требованиям: иметь хорошо диагностируемые количественные (качественные) критерии, соответствующие факторам и типам почвообразования, характерное время формирования маркирующих признаков (индикаторов), определение почвенных процессов, вызывающих изменения в почве.

Индикационное почвоведение – это направление фундаментального генетического почвоведения, изучающее информационную емкость почвы как индикатора прошлого, настоящего и будущего экосистем, агроресурсного, лесорастительного и экологического потенциала почв и долгосрочного прогноза их изменения.

Сущностью индикационного почвоведения является «генерализация» накопленных знаний из всех направлений для решения конкретных теоретических и (или) практических задач. Генерализация знаний о почве осуществляется в процессе создания информационного образа почвы («цифрового двойника»). Информационный образ почвы на любой временной стадии развития можно представить в виде выражения (2):

$$(ИО)_i = \{P, F\}, \quad (2)$$

¹ Вставлено автором статьи

где $(ИО)_i$ – цифровой образ почвы на определенной стадии развития; P – множество количественных показателей свойств (индикаторов), определенных взаимными функциональными соотношениями; F – множество функциональных отношений и зависимостей между этими индикаторами и окружающей средой, с которой почва находится во взаимодействии.

Переход от информационного образа почвы к решению стоящих перед наукой проблем осуществляется через использование искусственного интеллекта. Искусственный интеллект – это способ преобразования цифровых данных о почве в новое знание о процессах и обусловленных ими функциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Апарин Б.Ф.* Естественно-научная парадигма / Живые и биокосные системы. 2016. № 16. С. 1.
2. *Докучаев В.В.* Сочинения. Т. VI. 1949. С. 381.
3. *Иванов А.Л., Апарин Б.Ф.* Вехи истории (к 95-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева / Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022, № 112. С. 5–23.
4. Полигоны почвенно-экологического мониторинга лесных экосистем таежной зоны: уч. пособие для ВУЗов / Апарин Б.Ф., Бабилов Б.В., Касаткина Г.А., Мингареева Е.В., Сухачева Е.Ю., Тетюхин С.В. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 140 с.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Безкоровайная И.Н.¹, Прокушкин А.С.^{1,2}

¹ ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, ibezkorovaynaya@sfukras.ru

² ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, Красноярск, prokushkin@ksc.krasn.ru

Важнейшую роль в депонировании углерода играют лесные экосистемы, которые выполняют функцию одного из основных регуляторов углеродного баланса Земли [6]. Выделяют основных четыре пула углерода лесов: фитомасса (с подразделением на надземную и подземную), мертвая древесина (валеж), подстилка, органическое вещество почвы [8]. Огромный размер глобального запаса органического углерода в почве (до 96 %), наряду с длительным временем его оборота, делает почвы наиболее важной частью земного цикла углерода в региональном и глобальном масштабах [10, 13].

Выделяются четыре базовых подхода к проведению региональной оценки запасов углерода в лесах: картографический, конверсионный, дистанционный, модельный. По мнению Ведровой [2] методы при анализе баланса углерода в наземных экосистемах можно объединить в несколько групп: камерные измерения, когда чистая экосистемная продукция оценивается по каждому компоненту экосистемы (растительность и почва); метод вихревых пульсаций (Eddy covariance techniques); статистические, экофизиологические и биометрические методы. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки.

Сегодня имеется целый ряд оценок углероддепонирующей способности лесов России, полученных разными методами [4, 7, 11, 14]. Становится очевидным, что различия в методических подходах приводят к значительным расхождениям.

Сотрудниками Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН на протяжении длительного времени проводятся исследования углеродного цикла на территории Красноярского края, прежде всего, на основе балансового метода [1–3, 5, 9, 12]. География исследований охватывает лесные экосистемы от лесостепной зоны до притундровых лесов. По имеющимся данным в лесных экосистемах региона (включая лесотундру и лесостепь) сосредоточено 15879 млн т углерода (156 тС/га лесопокрытой территории), из них 74 % приходится на долю почвенного

органического вещества (ПОВ). Полученные на большом экспериментальном материале оценки свидетельствуют о важности и необходимости учета вклада ПОВ в баланс углерода лесных экосистем.

Сравнительный анализ экспериментальных данных для конкретных типов леса на территории Красноярского края и средних значений по запасам углерода в подстилках и почвах, рекомендуемых Методикой региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) [4] и Приказом № 371 Министерства Природы РФ [7] к использованию для расчетов выявил некоторые расхождения. Прежде всего отмечены сильно завышенные (более чем в 2 раза) средние значения запасов почвенного углерода, особенно для почв средней и северной тайги по сравнению с экспериментально полученными данными. Для подстилок наоборот – рекомендуемые средние значения запасов углерода подстилок лиственничников и сосняков северной и средней тайги в 2–3 и более раз ниже экспериментальных.

Расхождения в оценках могут быть связаны с использованием единых для всей страны конверсионных коэффициентов и недоучетом лесорастительных условий и особенностей процессов формирования и накопления органического материала в условиях Сибирского региона. Так, например, по данным Мухортовой с соавторами [12] для европейских таежных лесов запасы углерода в метровом слое почвы составляют 13,7–18,7, для азиатской части – 14,85–21,4 кг С/м².

Применение различных схем отбора почвенных проб, недоучет запасов подстилок при отборе образцов, различия в понимании, что такое «подстилка» (учет всех подгоризонтов подстилки LFH, или только L), различия в отборе почвенных образцов в минеральной толще почвы (отбор проб по горизонтам или по слоям, повторности проб, смешанные и/или объединенные пробы, измерение объемной массы), нарушения при пробоподготовке (отбор корней, учет грубых части), и др. причины могут повлиять на различия в оценках вклада ПОВ в баланс углерода.

Выявленные различия и неопределенности в оценках на локальном и региональном уровне, а также анализ неопределенностей в глобальных оценках свидетельствуют о необходимости конкретизации методик учета отдельных групп ПОВ (подстилка, валеж, корневой детрит, гумус), валидации и верификации методов проведения инструментальных исследований и измерений ПОВ при проведении мониторинга запасов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Шибистова О.Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 631–649.
2. Ведрова Э.Ф. Деструкционные процессы в углеродном цикле лесных экосистем Енисейского меридиана: дис. Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского Отделения Российской Академии Наук. 2005.
3. Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Безкорвайная И.Н. Органическое вещество почв лиственничников северной тайги // Почвоведение. 2002. № 8. С. 967–974.
4. Замолодчиков Д. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. 2011. № 4. С. 15–22.
5. Климченко А.В. Аккумуляция органического вещества в крупном фитодетрите темнохвойных лесов Средней тайги Приенисейской Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2011. XXIX, № 3–4. С. 11–18.
6. Кудеяров В. Н., Заварзин Г. А., Благодатский С. А., Борисов А. В., Воронин П. Ю., Демкин В. А., Чертов О. Г. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
7. Приложение 2 к Методике количественного определения объема поглощений парниковых газов утвержденной приказом Минприроды России от 27.05.2022. № 371.
8. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов / под ред. Дж. Пенман. МГЭИК: ВМО. 2003. 648 с.

9. Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Кузьмичев В.В. Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках Енисейской равнины // Лесоведение. 2011. № 1. С. 3–12.

10. Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И.О., Щепаченко Д.Г. Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2021. № 3. С. 273–286.

11. Dolman A.J. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods // Biogeosciences. 2012. Vol. 9, № 12. P. 5323–5340.

12. Mukhortova L., Schepaschenko D., Shvidenko A., McCallum I., Kraxner F. Soil contribution to carbon budget of Russian forests // Agricultural and Forest Meteorology. 2015, № 200. P. 97–108.

13. Rumpel C., Kögel-Knabner I. Deep soil organic matter – a key but poorly understood component of terrestrial C cycle // Plant and soil. 2011. Vol. 338, № 1. P. 143–158.

14. Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. Carbon budget of Russian forests // Siberian Journal of Forest Science. 2014. Vol. 1. P. 69–92.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ РОССИИ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ

Герасимова М.И.

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва, Ленинские Горы, 1;
Почвенный институт им. В.В. Докучаева. Москва, Пыжевский пер., 7*

Классификация почв России известна в двух версиях: основной 2004 г. «Классификация и диагностика почв России» и «Полевой определитель почв России» 2008 г., более удобной в использовании и содержащей ряд новых дополнений, внесенных после обсуждения на сайте основной версии [3]. Широкое обращение к классификации почвоведов, особенно сибирских и дальневосточных, а также физико-географов, к сожалению, не сравнимо с ее малой популярностью у лесных почвоведов, пользующихся классификацией почв СССР 1977 г. Иногда лесные почвы – объекты исследований, называются неопределенными авторскими названиями, названиями только в международной классификации WRB, или вообще не называются, что ограничивает как понимание особенностей объектов, так и возможностей экстраполяции полученных результатов. Эти соображения подтверждаются экспертной оценкой материалов тематических конференций по лесному почвоведению.

При изучении генезиса и функционирования лесных почв, их связей с типами леса, парцеллярности, картографирования и экологических оценок особое значение имеют верхние органические и органо-минеральные горизонты. В классификации 1977 г. их набор был весьма малым (хотя и большим чем срединных): торфяной, перегнойный, грубогумусный перегнойный (в буроземах), подстилка (она же опад) Ao или AoA1 – «сильноминерализованная нижняя часть лесной подстилки, почти сливающаяся с горизонтом A1 ([6], с. 20)», и просто A1 в природных почвах. Разделение подстилок на подгоризонты отсутствует. В классификации почв России выделено 16 верхних горизонтов [8]. Дифференциация подстилок на подгоризонты известны [1], но она не включена в классификацию, как и формы гумуса в европейских классификациях.

Любая почвенная классификация требует регулярного обновления через 10–15 лет [10], и новая классификация не является исключением. «Первыми ласточками» очередного обновления являются журнальные статьи, посвященные *диагностическим горизонтам и признакам* [11, 12] и их полные описания, вынесенные на сайт Почвенного института им. В.В. Докучаева. Напомним, что именно эти диагностические элементы являются основой системы и широко используются в исследованиях и обзорах. Количество верхних горизонтов остается прежним, хотя за счет изменений в статусе стратифицированных горизонтов предложены два новых: черногумусовый AN для черноземов и мезотрофно-торфяной TM. В названия и описания

некоторых горизонтов внесены изменения, например, название «гумусово-слаборазвитый» W заменено на «протогумусовый», а определение перегнойно-темногумусового АН расширено в расчете на другие горизонты кроме темногумусового.

В отношении новых диагностических признаков положение оказывается более сложным. Необходимость более детальных характеристик почв постоянно упоминается в публикациях, и новые признаки, отражающие, в частности, антропогенные воздействия или виды землепользования, постоянно предлагаются. Однако, в соответствии с правилами классификации почв России, диагностический признак соответствует уровню подтипа, и предложения не всегда реалистичны. Уровень подтипа в отечественных классификациях – высокий уровень, и по традиционным представлениям, отражает принадлежность почвы к определенной подзоне [4]. Так, три подтипа подзолистых почв соответствуют подзонам северной, средней и южной тайги, а подтиповой признак «переуплотненный» отражает состояние горизонта в момент наблюдения и может исчезнуть по разным причинам.

Исходя из соображений нестабильности некоторых свойств почв, их явно временного существования и даже эфемерности, было предложено шире использовать *уровень рода* в классификации почв России [2]. В классификации почв СССР этот уровень был частично предусмотрен для изменений почв во времени, наличии реликтовых признаков, например, вторых гумусовых горизонтов, для указания на близкие грунтовые воды.

На уровне рода в классификации почв России предлагается рассматривать временные явления в почвах, наблюдаемые в момент описания и потенциально не сохраняющиеся долго. Ими может быть тиксотропность в криогенных почвах, новообразования лабильных карбонатов в черноземах, поверхностные корки на пашне. Признаки рода могут также относиться к деталям подтиповых признаков. Подтиповый признак «пирогенный» (лучше постпирогенный), имеющийся в классификации и используемый для верхних горизонтов почв, нарушенных пожарами, целесообразно разделить на родовые признаки для торфов и лесных органо-минеральных почв на основании известных по многим исследованиям их существенных различий. Более того, сам признак пожаров тоже неустойчив и исчезает в ходе восстановительных сукцессий, сохраняясь в виде отдельных угольков в верхних горизонтах. В лесном почвоведении хорошо известны сукцессионные стадии после сплошных рубок с соответствующей быстрой, в масштабах почвообразования, эволюцией почв, которые также целесообразно фиксировать названиями почв на уровне рода. Одна из них – стадия развития трав с образованием дернины и аккумуляцией гумуса, для которой предложен признак «дернинный»; он может использоваться и шире, в том числе для почв залежей.

Еще одной областью неиспользованных возможностей классификации лесных почв на низких таксономических уровнях может быть парцеллярность лесных сообществ, как динамическое явление, с одной стороны, и как отражение небольших различий между верхними почвенными горизонтами. Для лесных подстилок и детрита пока не найдено мест в классификации несмотря на значительный объем информации [1].

К новым объектам в последние годы добавились почвы городских лесов и старинных парков на фоне общего роста интереса к городским почвам [7, 9]. Классифицируются ли объекты зеленой инфраструктуры городов как природные почвы, учитывая не только изменения фактора «растительность», но и их целенаправленное конструирование во многих случаях, как и интегральное влияние городской среды?

При разработке очередной версии классификации почв России целесообразно было бы расширить ее разделы, касающиеся верхних горизонтов лесных почв, в том числе верхних почвенных горизонтов, обычно принимающих максимум антропогенных воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
2. Герасимова М.И. Нужен ли уровень рода в классификации почв России? // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 95. С. 90–98.

3. Герасимова М.И., Хохлов С.Ф. Классификация почв России: обсуждение на сайте в Интернете // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1449–1455.
4. Добровольский Г.В., Розов Н.Н., Урусевская И.С. Почвенно-географическое районирование СССР м-ба 1: 8М. 1984.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумене, 2004. 342 с.
6. Классификация и диагностика почв СССР. Москва: Колос. 1977. 223 с.
7. Матинян Н.Н., Бахматова К.А. Почвы и почвенный покров парков Петергофа. С.-Петербург: СПбГУ, 2012. 94 с.
8. Полевой определитель почв России. Москва: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
9. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С. и др. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
10. Фридланд В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работы по ее созданию. Москва: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1982. 149 с.
11. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 // Почвоведение. 2021. № 8. С. 899–910.
12. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. 2022. № 1. С. 3–14.

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА СВОЙСТВА ПОЧВ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

Дымов А.А.^{1,2}

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

² Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, aadytov@gmail.com

Пожары являются важнейшим фактором существования, функционирования и эволюции экосистем бореальных лесов [4, 8]. Большинство экосистем прямо или косвенно подвергаются воздействию пожаров. В бореальных лесах аккумулированы значительные запасы углерода на планете, при этом, от 30 до 60 % запасов углерода экосистем сосредоточено в почвах [1, 2, 9]. Несмотря на значительное число работ, посвященное оценке влияния пирогенного фактора на почвы, интерес к оценке последствий пирогенного воздействия существенно усиливается на фоне современных флуктуаций климата и смещения пирогенной активности на север, в экосистемы, характеризующиеся большими запасами горючих материалов и меньшей пирогенной активностью. В настоящее время, при оценке последствий пожаров особую роль приобретает пул пирогенного углерода (P_uC), образующегося и сохраняющихся длительное время в почвах. В связи с чем, цель данной работы заключалась в оценке разнообразия влияния пожаров на почвы бореальных лесов.

Наиболее часто изменения морфологических и физико-химических свойств почв диагностируются в первые годы (месяцы) после воздействия пожаров [6, 7]. Выявлено, что влияние пожаров на почвы характеризуются определенным разнообразием. Последствия влияния пирогенного воздействия зависят от сухости лесных подстилок, наличия необходимого горючего материала, типа леса, сезона и ряда других важных факторов. Для сосняков лишайниковых, расположенных в средней тайге и развивающихся на песчаных подзолах, пожары являются, наиболее частыми факторами воздействия в бореальных лесах [7]. Сосняки сфагновые, формирующиеся на полугидроморфных почвах, горят существенно реже, но при этом, последствия таких пожаров более катастрофичны [3]. В отдельные засушливые годы горят залесенные болота [10]. Наиболее часто в первые годы после пожаров диагностируются снижение кислотности лесных подстилок и постпирогенных органогенных горизонтов [3, 4]. При низовых пожарах, характеризующихся сохранением древостоя, и активном возобновлении растений напочвенного покрова наблюдается достаточно быстрое восстановление основных физико-химических свойств. Подкисление постпирогенных почв определяется восстановлением близких к исходным

концентрациям водорастворимых органических кислот, поступающих в почвы в результате корневых выделений и вымывания из крон растений. В первые месяцы после пожаров существенно трансформируются потоки влаги. Временное уменьшение потребления воды деревьями и растениями почвенного покрова, может способствовать развитию эрозионных процессов. Оценку влияния пирогенеза на состав почвенного органического вещества принято оценивать по содержанию соединений с ароматическими структурами. Возрастание PyC отмечается во многих исследованиях почв лесных экосистем, испытавших прямое пирогенное воздействие. При изучении экосистем с частично восстановленным растительным покровом, высокая доля ароматических структур в составе почвенного органического вещества (ПОВ) редко связывается с влиянием пожаров. Наиболее часто содержание ароматических структур в составе ПОВ оценивают с использованием ядерного магнитного резонанса, а также оценкой содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и бензолполикарбонновых кислот (БПКК). Наиболее широко изучено влияние пожаров на содержание ПАУ, что связано с большей доступностью данного метода на территории России. К настоящему времени выявлено, что концентрации ПАУ в верхних горизонтах почв непосредственно после пожаров возрастают в десятки раз по сравнению с исходными и/или условно-фоновыми почвами [7]. В ходе дальнейшей постпирогенной сукцессии они рассеиваются и перераспределяются в верхних горизонтах почв и в ландшафте. Но при этом, даже в условно-фоновых экосистемах с длительностью времени прошедшего с последнего пожара от 100 до 200 лет содержание данных соединений в почвах определяется влиянием пожаров [11]. Первые единичные данные по содержанию БПКК в почвах северных регионов Европейской части России [6], свидетельствуют о значительном вкладе PyC в составе ПОВ. Наиболее значительно вклад проявляется в нижних гумифицированных подгоризонтах подстилок. Пирогенная активность в бореальных лесах часто оценивается по содержанию углистых частиц в торфяных олиготрофных почвах [5, 10]. Углистые включения и пирогенно ассоциированные свойства органического вещества сохраняются с начала формирования болот (от шести до десяти тысяч лет). Выявлена значимая положительная корреляция углистых частиц, ПАУ и результатов ядерного магнитного резонанса [11]. Результаты, полученные в предыдущие десятилетия, позволяют сделать вывод, что оценка современного состояния почв бореальных лесов и болотных экосистем должна проводиться с учетом их пирогенной истории.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 19-29-05111 мк и темы НИР № 12204060023-8 «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв бореальных и арктических экосистем европейского Северо-Востока в условиях антропогенных воздействий, глобальных и современных региональных климатических трендов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / Н. В. Лукина, Е. В. Тихонова, Н. Е. Шевченко и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 232 с.
2. Бахмет О.Н. Запасы углерода в почвах сосновых и еловых лесов Карелии // Лесоведение. 2018. № 1. С. 48–55. DOI: 10.7868/S0024114818010047.
3. Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828.
4. Краснощекоев Ю.Н., Чередникова Ю.С. Постпирогенная изменчивость лесных почв в горном Прибайкалье. Новосибирск: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирское отделение Российской академии наук», 2022. 164 с. DOI: 10.53954/9785604782354.
5. Dymov A.A., Gorbach N.M., Goncharova N.N., Karpenko L.V., Gabov D.N., Kutyavin I.N., Startsev V.V., Mazur A.S., Grodnitskaya I.D. Holocene and recent fires influence on soil organic matter, microbiological and physico-chemical properties of peats in the European North-East of Russia // Catena. 2022. Vol. 217, № 106449. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106449.
6. Dymov A.A., Startsev V.V., Milanovsky E.Y., Valdes-Korovkin I.A., Farkhodov Y.R., Yudina A.V., Guggenberger G. Soils and soil organic matter transformations during the two years after a low-intensity surface fire (Subpolar Ural, Russia) // Geoderma. 2021. Vol. 404, № 115278. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115278.

7. Dymov A.A., Startsev V.V., Yakovleva E.V., Dubrovskiy Y.A., Milanovsky E.Y., Severgina D.A., Panov A.V., Prokushkin A.S. Fire-Induced Alterations of Soil Properties in Albic Podzols Developed under Pine Forests (Middle Taiga, Krasnoyarsky Krai) // *Fire*. 2023. Vol. 6, № 2. DOI: 10.3390/fire6020067.
8. Kharuk V.I., Ranson K.J., Dvinskaya M.L., Im S.T. Wildfires in northern Siberian larch dominated communities // *Environmental Research Letters*. 2011. Vol. 6, № 045208. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045208.
9. Osipov, A.F., Bobkova K.S., Dymov A.A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi Republic of Russia // *Geoderma Regional*. 2021. Vol. 27, № e00427. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00427.
10. Startsev V.V., Gorbach N.M., Mazur A.S., Prokushkin A.S., Karpenko L.V., Dymov A.A. Macrocharcoal Signals in Histosols Reveal Wildfire History of Vast Western Siberian Forest-Peatland Complexes // *Plants*. 2022. Vol. 11, № 24. № 3478. DOI: 10.3390/plants11243478.
11. Startsev V.V., Yakovleva E.V., Kutuyavin I.N., Dymov A.A. Fire impact on the carbon pools and basic properties of Retisols in native spruce forests of European North and Central Siberia of Russia // *Forests*. 2022. Vol. 13, № 1135. DOI: 10.3390/f13071135.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОДЗОЛОВ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМОВ ВЫБРОСОВ SO₂ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

Кашулина Г.М.

*Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, Апатиты,
galina.kashulina@gmail.com*

Антропогенное влияние на почвенный покров в настоящее время приобретает глобальный характер и проявляется большим разнообразием видов воздействия. Кольский полуостров – индустриально развитый субарктический регион, где основным фактором антропогенного изменения почв является химическое загрязнение выбросами нескольких крупных горно-перерабатывающих предприятий. Одно из них – медно-никелевое предприятие в г. Мончегорск относится к числу наиболее мощных источников выбросов SO₂ и тяжелых металлов (ТМ) на севере Европы. Ближайшие окрестности этого предприятия представляют довольно редкий случай антропогенного воздействия на почвы, когда его интенсивность и длительность (более 70 лет) в сочетании с высокой чувствительностью основных компонентов северотаежных экосистем (мхов, лишайников и хвойных деревьев) обусловили серьезные повреждения растительности – одного из ведущих факторов почвообразования. И, несмотря на экстремальный уровень химического загрязнения тяжелыми металлами, наиболее серьезная деградация почв с нарушением морфологического сложения всех базовых физических и химических свойств здесь была обусловлена, именно, косвенным воздействием выбросов за счет повреждения растительности и прекращения поступления свежего растительного опада [1, 3].

Максимальные объемы выбросов загрязняющих веществ и наиболее значительное повреждение экосистем пришлось на середину 80-х. После чего, в результате частичной реконструкции предприятия, выбросы начали постепенно снижаться, а растительность восстанавливаться [2]. Анализ основных тенденций современной трансформации почв наиболее загрязненных и нарушенных экосистем в условиях снижения объемов выбросов SO₂ и тяжелых металлов основан на данных комплексного многолетнего мониторинга стационарной площадке, расположенной в 8 км от источника выбросов. Исследования были начаты в 2001 году спустя 60 лет с начала работы предприятия и после 6-ти кратного снижения выбросов SO₂ и ТМ за последние 15 лет. По данным мониторинговых наблюдений 2001–2011 гг., несмотря на значительное снижение выбросов, текущая техногенная нагрузка на эту экосистему остава-

лась экстремально высокой (содержание Ni в снеге превышало фон в 7000 раз), а накопленные количества Ni и Cu в почве более тысячи раз превышали фоновые [1].

На начало исследований в 2001 году растительность на этой площадке мониторинга была представлена кустистой березой, разрастающейся после снижения объема выбросов. Небольшое количество опада листьев березы сметалось под кроны и еще не оказывало существенного влияния на процессы почвообразования. Поэтому почва на этой площадке продолжала деградировать, а основным механизмом деградации оставалось постепенное разложение старого органического вещества при длительном отсутствии свежего растительного опада. Из-за повышения степени разложения подстилично-торфяной горизонт O превратился в сухую пылящую массу, перемешанную с минеральными частицами из ниже расположенных горизонтов и был диагностирован как Oh, mr. Подзолистый горизонт обогатился пылевой органикой из верхнего горизонта, а иллювиально-гумусовый горизонт из-за снижения содержания органического вещества трансформировался в иллювиально-железистый. На этой стадии почва здесь была диагностирована как деградированный подзол иллювиально-железистый с системой горизонтов: Oh, mr–Eh–BF–BC–C.

Первые пионерные мхи (*Dicranum* и *Polytrichum* sp.) на этой площадке появились в 2006 году (т. е. после 20 лет снижения выбросов) и постепенно увеличивали свое присутствие до практически полного покрытия поверхности к 2018 году. В 2013 году, когда и отмершие части мхов, и скопления опада листьев березы начали уже ощутимо оказывать влияние на почвенные процессы, на площадке были повторно заложено 4 почвенных разреза. Их местоположение было выбрано таким образом, чтобы охватить, как продолжающие деградировать участки пустоши, так и участки, где началось самовосстановление почв вслед за возобновлением поступления свежего растительного опада. Из отмерших остатков пионерных мхов на поверхности деградирующего подстилично-торфяного горизонта Oh, mr начал формироваться новый пост техногенный сухоторфяной горизонт TJpt, из слоя скопившегося опада листьев березы – пост техногенный подстилично-торфяной горизонт Opt.

В отличие от 2001 года, исследования 2013 года показали, что к деградации почв, вызванной более продолжительным отсутствием свежего растительного опада и разложением старого органического вещества коренной экосистемы, добавилось морозное пучение минеральных горизонтов, которое не является характерным для естественных подзолов в регионе. Первые признаки морозного пучения в виде выноса на поверхность иллювиального горизонта на этой площадке были отмечены в 2006 году. В 2013 году во всех разрезах здесь было выявлено нарушение залегания минеральных горизонтов до глубины 10–15 см, вызванное морозным пучением. При этом границы между горизонтами приобрели волнистый характер. В результате морозного пучения иллювиальный горизонт местами поднимался к нижней части органогенного горизонта, прерывал целостность подзолистого горизонта или смешивается с ним в верхней части с образованием горизонта [Eh+BF]ctr.

Из-за участия морозного пучения на более поздних стадиях деградации почва на участках техногенных пустошей, согласно Классификации почв России 2004 г., была диагностирована как аэротехногенно деградированный и криотурбированный подзол с системой горизонтов: Oh, mr–Ehi–([E+BF]hi, ctr)–BFctr–BC. Почвы на участках, где возобновилось поступление свежего опада за счет отмирающих частей пионерных мхов, почва была диагностирована как пост техногенный сухоторфяно-подзол по деградированному и криотурбированному подзолу с системой горизонтов: (TJpt)–Oh, mr–Ehi–([E+BF]hi, ctr)–BFctr–BC. Почва со слоем опада листьев березы на поверхности – как подзол пост техногенный по деградированному и криотурбированному подзолу с системой горизонтов: Opt–Oh–Ehi–([E+BF]hi, ctr)–BFctr–BC.

Таким образом, в условиях снижения объема выбросов загрязняющих веществ и медленного восстановления растительности на площадке мониторинга, расположенной в 8 км от комбината «Североникель» и характеризующейся экстремально высоким уровнем загрязнения

тяжелыми металлами и сильным повреждением экосистем, были выявлены две противоположно направленные тенденции современной трансформации почв: продолжение деградации и самовосстановление. На участках техногенной пустоши, где не возобновилось поступление свежего растительного опада, почва продолжала деградировать с повышением степени разложения органического вещества и морозной криотурбацией верхней части профиля. На участках, где возобновилось поступление свежего растительного опада, началось самовосстановление почв с формированием новых пост техногенных органогенных горизонтов на поверхности. Их формирование предотвращает деградацию почвы и способствует дальнейшему самовосстановлению этой экосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кашулина Г.М.* Комплексный мониторинг окружающей среды около медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // Почвоведение, 2022. № 5. С. 556–570. DOI: 10.31857/S0032180X22050021.
2. AMAP Assessment report 2006: Acidifying pollutants, Arctic Haze and Acidification in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, 2006. 111 p.
3. *Kashulina G., Reimann C., Finne T.E., Halleraker J.H., Ayras M., Chekushin V.A.* The state of the ecosystems in the Central Barents Region: scale, factors and mechanism of disturbance // The Science of the Total Environment, 1997. No 206. P. 203–225.

МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ CO₂ ИЗ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ: ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА НЕПРЕРЫВНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хорошаев Д.А., Кивалов С.Н., Сапронов Д.В.,
Мякшина Т.Н., Шанин В.Н., Припутина И.В., Фролов П.В., Быховец С.С.**

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Московская область, ikurg@mail.ru*

Эмиссия CO₂ из почв, выраженная через ее микробную составляющую, является одной из основных статей углеродного баланса в наземных экосистемах [1]. Ее отличает высокая временная [3] и пространственная [2] вариабельность, которые определяются неоднородностью гидротермического режима почв на локальном (экосистемном) уровне и разнообразием климатических и эдафических условий на уровне отдельных регионов. Определение эмиссии CO₂ из почв является также необходимым элементом при изучении экосистемных потоков CO₂ в наземных экосистемах методом вихревых пульсаций. Особый интерес представляют длительные ряды наблюдений за эмиссией CO₂ из почв в различных экосистемах, поскольку они позволяют: (i) получить адекватные оценки месячных, сезонных и годовых потоков CO₂ из почв и их межгодовой вариабельности, (ii) определить отклик сезонных и годовых потоков CO₂ из почв на современные климатические тренды, и (iii) провести параметризацию и верификацию имитационных и эмпирических моделей для получения прогнозных оценок эмиссионных потоков CO₂ из почв в условиях изменяющегося климата. В рамках представляемой работы, опираясь на данные непрерывного 25-летнего мониторинга за эмиссией CO₂ из почв в двух лесных экосистемах южного Подмосковья проведен анализ межгодовой вариабельности месячных, сезонных и годовых потоков CO₂ из почв и выявлены факторы, которые ее определяют. На основе имеющегося ряда эмпирических данных протестированы 3 типа нелинейных T&P моделей, почвенная модель Romul_Num и новая версия системы моделей EFIMOD3 с целью оценки соответствия расчетных данных результатам полевых измерений.

Наблюдения за эмиссией CO_2 из почв проводили непрерывно, начиная с 1997 г. в двух лесных ценозах, расположенных (1) на территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника (ПТЗ, зрелый смешанный лес, супесчаный дерново-подбур) и (2) вблизи опытно полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (вторичный лиственный лес, суглинистая серая почва). Эмиссию CO_2 из почв (или общее дыхание почвы, SR), включающее корневую и микробную компоненты, определяли круглогодично (3–5 раз в месяц) с использованием камерного статического метода [3]. Параллельно контролировали температуру (T) и влажность (W) почвы в слое 0–5 см. В работе обобщены данные 25-летних измерений (1998–2022), в течение которых наблюдались самые разные сочетания погодных условий. Для их характеристики на основе рядов метеорологических данных, представленных среднемесячными температурами воздуха (T_m , °C) и месячными суммами осадков (P, мм), наряду со среднегодовыми значениями T_m (MAT, °C), годовыми суммами осадков 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}) и гидротермический коэффициент Селянинова за летний период (HTC_{6-8}).

Наши расчеты показали, что в период с 1998 по 2014 г. суммарная годовая эмиссия CO_2 из почв лесных ценозов демонстрировала очень близкие значения, свидетельствуя о том, что тип почвы не оказывал значимого влияния на годовую эмиссию CO_2 из почв в этот период. Начиная с 2014 г., годовые потоки CO_2 из серой суглинистой почвы становятся существенно выше таковых из супесчаного дерново-подбура, что мы связываем с понижением уровня грунтовых вод на площадке наблюдений в ПТЗ вследствие усиления аридизации климата в регионе, что привело к уменьшению эмиссионных потерь CO_2 из супесчаных почв, практически не отражаясь на потоках CO_2 из суглинистых почв. Средние многолетние величины годовой эмиссии CO_2 из почв лесных ценозов составили 579 ± 46 и 621 ± 56 г $\text{C}/\text{m}^2/\text{год}$ для дерново-подбура и серой почвы, соответственно, и достоверно между собой не различались. Выявлена положительная связь величины годовых потоков CO_2 из почв лесных ценозов с метеорологическими индексами, основанными на количестве осадков за разные временные периоды (SP_{5-8} , SP_{5-9} , WI_{5-8} , WI_{5-9} , HTC_{6-8}). Обнаруженные зависимости были более выражены для супесчаного дерново-подбура по сравнению с суглинистой серой почвой.

Проведенные исследования показали, что величина SR характеризуется высокой временной вариабельностью на всех уровнях осреднения – месячном, сезонном и годовом. Величина месячных потоков CO_2 из почв контролируется среднемесячной T_m , в то время как величина годовых потоков CO_2 из почв в большей степени зависит от значений летнего ГТК. Самым стабильным показателем ($CV = 8\%$), характеризующим особенности сезонного распределения потоков CO_2 в пределах года, является вклад теплого периода (май–октябрь) в суммарный годовой поток CO_2 из почв, в среднем составлявший 73–77 %.

Все версии T&P модели удовлетворительно описывают многолетнюю временную динамику среднемесячной интенсивности SR под лесной растительностью. Выявлено, что для супесчаного дерново-подбура целесообразнее использовать модели, учитывающие запасы C в верхнем 0–20 см слое почв, в то время как для суглинистой серой почвы наилучшие результаты показывает модель Райха-Хашимото (TRPrh), в которой учитывается температурный эффект на активность микробной биомассы. Использование T почвы для параметризации модели дает лучшие результаты, чем применение T воздуха.

Результаты моделирования дыхания почв, выполненные на основе почвенной модели Romul_Hum и системы моделей EFIMOD3, показали хорошее соответствие с данными полевых измерений. Модель Romul_Hum лучше воспроизводила интенсивность гетеротрофного дыхания (HR) исследуемых почв во влажные годы, чем в засушливые, когда модельные оценки HR выше экспериментально полученных. При совместном моделировании гетеротрофного

и корневого дыхания дерново-подбуря с использованием EFIMOD3 учитывалась пространственная изменчивость запасов и потоков С, связанная с неоднородностью распределения опада и гидротермических условий под пологом леса.

Таким образом, мы заключаем, что сумма осадков и индексы влажности, рассчитанные на ее основе для разных периодов вегетационного сезона, являются теми параметрами, которые определяют величину годовых потоков CO₂ из почв в лесных экосистемах южного Подмосковья. При выборе оптимальной модели для оценки среднемесячных величин SR важно учитывать запасы углерода в верхнем слое почв и их водоудерживающую способность.

Работа выполнена в рамках реализации ВИП ГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. Т. 76, № 1. С. 14–29.
2. Bond-Lamberty B., Thomson A. A global database of soil respiration data // Biogeosciences. 2010. N. 7. P. 1915–1926.
3. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Khoroshaev D.A., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Zhmurin V.A., Kudeyarov V.N. Analysis of the Long-Term Soil Respiration Dynamics in the Forest and Meadow Cenoses of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve in the Perspective of Current Climate Trends // Eurasian Soil Sci. 2020. Vol. 53, N 10. P. 1421–1436.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДИНАМИКИ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

**Лукина Н.В., Данилова М.А, Копчик Г.Н., Гераськина А.П.,
Янчилик П.Р., Семенов И.Н, Кузнецова А.И., Кузнецов В.А.**

ЦЭПЛ РАН, Москва

Сохранение запасов органического углерода в почвенных пулах является основой устойчивого развития наземных биогеоценозов. Для сохранения биоразнообразия, играющего ключевую роль в смягчении последствий изменения климата, особенно важны лесные почвы, содержащие около половины всего почвенного углерода наземных экосистем (Mayer et al., 2020). Актуальной проблемой является оценка динамики запасов углерода в лесных почвах при изменениях климата, для чего применимы два основных подхода:

1. Оценка с учетом разности в запасах углерода почв за определенный временной интервал (разностный метод);
2. Оценка с учетом основных процессов, определяющих динамику соединений углерода: поступление соединений углерода в почву с наземным и подземным опадом, с атмосферными выпадениями, включая кроновые и ствольные воды, эмиссия парниковых газов из почв, процессы разложения органического вещества и миграции с поверхностным и внутрисочвенным стоком.

Для применения обоих подходов необходима оценка пространственного варьирования пулов углерода в почвах и процессов, формирующих эти пулы, что требует учета факторов

почвообразования, определяющих варьирование свойств почв: климат, рельеф, почвообразующие породы, растительность и почвенная биота, включая микроорганизмы и животных, история и характер землепользования. При этом для использования второго подхода необходимы непрерывные и/или периодические инструментальные полевые измерения, требующие установки соответствующего оборудования.

С целью применения обоих подходов к оценке динамики соединений углерода в наземных экосистемах в рамках важнейшего инновационного проекта «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ) организуется сеть тестовых полигонов и пробных площадей экстенсивного и интенсивного уровней в разных природно-климатических условиях (<https://ritm-c.ru/results/methods>). Общая площадь участков для оценки динамики запасов углерода в почвах (разностный подход) с интервалом 5–10 лет варьирует от 1 до 8 га. Второй подход к оценке динамики соединений углерода применяется при развитии интенсивного уровня мониторинга. Для применения этого подхода разрабатываются и применяются методические рекомендации по оценке процессов, ведущих к потерям соединений углерода из почв, к которым относятся эмиссии парниковых газов из почв (Kurganova et al., 2020) и вынос соединений углерода с почвенными водами, и по оценке процессов, ведущих к поступлению органического углерода в почвы, таких как приход с опадом, кроновыми, стволовыми водами. Соединения углерода поступают в почву и с корневыми выделениями, что также предстоит учитывать в дальнейшем.

При разработке методических рекомендаций для применения обоих подходов учитывается как меж-, так и внутрибиогеоценотическое пространственное варьирование процессов и факторов, формирующих цикл углерода, включая аккумуляцию углерода в почвах. Разностный подход применим для полигонов и пробных площадей как экстенсивного, так интенсивного уровней мониторинга, тогда как оценка процессов проводится только на полигонах и пробных площадях интенсивного уровня.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Khoroshaev D.A., Myakshina T.N., Saprnov D.V., Zhmurin V.A., Kudryarov V.N. Analysis of the Long-Term Soil Respiration Dynamics in the Forest and Meadow Cenoses of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve in the Perspective of Current Climate Trends // Eurasian Soil Science, 2020. Изд-во Maik Nauka/Interperiodica Publishing (Russian Federation). Т. 53, № 10. С. 1421–1436. <https://link.springer.com/article/10.1134/S1064229320100117>.

2. Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A., Augusto L., C'ecillon L., Ferreira G.W.D., James J., Jandl R., Katzensteiner K., Laclau J.-P., Lagani`ere J., Nouvellon Y., Par'e D., Stanturf J.A., Vanguelova E.I., Vesterdal L., 2020. Tamm review: influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: a knowledge synthesis. For. Ecol. Manag. 466, 118127. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118127.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕХОДА К УСТОЙЧИВОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЛЕСАМИ СИБИРИ

Онучин А.А.

*Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск,
onuchin@ksc.krasn.ru*

Несмотря на огромные запасы лесов в Сибири экстенсивная модель развития лесной отрасли, привела к негативным изменениям в структуре лесного фонда и к дефициту качественного сырья. Со второй половины XX века доля площадей, занятых наиболее ценными спелыми и перестойными насаждениями, сократилась в 1,5 раза. При этом даже с учетом значительных объемов лесовосстановительных мероприятий, восполнение выбываемых запасов леса спелыми и перестойными хвойными древостоями происходит только на 30 % [1, 2, 4, 6].

За истекшие 60 лет активного освоения лесов на территории СФО вырублено 6 миллиардов кубометров качественной, в основном хвойной, древесины, а возобновилась только одна треть. При этом от вредителей, болезней и пожаров выведено из состава лесного фонда 2 миллиарда кубометров. Очевидно, что существующие тенденции развития лесной отрасли Сибири чреваты серьезными отрицательными последствиями, как для самой отрасли, так и для социально-экологической ситуации региона в целом. К сожалению, многие продолжают питать иллюзию о неисчерпаемости лесных ресурсов и, руководствуясь некорректно определенной расчетной лесосекой, планируют строительство ЦБК, ориентированных на использование преимущественно хвойной древесины, которая уже в остром дефиците.

Леса Сибирского Федерального округа служат одной из основных сырьевых баз лесного комплекса России и выполняют важнейшие биосферные функции, в то же время леса региона подвержены сильнейшему негативному прессу воздействия пожаров, вспышек массового размножения вредителей и болезней. Эти явления во многом являются следствием глобальных климатических изменений, которые необходимо учитывать в системе управления лесопользованием.

Крайне остро стоит вопрос об актуальности информации о лесном фонде. Данные лесоустройства большей частью устарели, с превышением ревизионного периода в 20 и более лет. Не имея достоверных данных о лесных ресурсах невозможно обеспечить соблюдение принципов устойчивого управления лесопользованием и эффективного планирования развития лесного комплекса.

Следует отметить, что негативные изменения в структуре лесного фонда естественны для периода пионерного освоения лесов, они наблюдались и продолжают наблюдаться помимо России и в ряде других государств. Переход к системе устойчивого управления лесами происходит по мере достижения определенного уровня соответствия природно-экономических условий структуре востребованных продуктов и услуг, производимых в регионе. В далеком прошлом большая часть Западной Европы тоже была сплошь покрыта лесами, однако в настоящее время лесистость территории относительно невысока. Сейчас здесь сформирована оптимальная структура лесного фонда, которая позволяет в полной мере реализовать на практике соблюдение принципов устойчивого управления лесами на уровне, который отвечает экономическим и социальным интересам западноевропейских стран [5].

Очевидно, что в ближайшей перспективе продолжающаяся деградация лесных ресурсов Сибири, о чем в частности свидетельствуют прогнозные оценки динамики лесов Красноярского края, окажет негативное влияние на состояние лесного комплекса и заставит нас трезво оценить преимущества устойчивого управления лесами, не допуская просчетов в лесной политике, которые приведут к потерям доходов от экспорта лесной продукции и обострению дефицита лесных ресурсов на внутреннем рынке.

Кардинальным решением ресурсных и экологических проблем на первом этапе перехода к устойчивому управлению лесопользованием посредством модели интенсивного использования и воспроизводства лесов является применение технологий глубокой переработки низкокачественной древесины. Такой подход позволяет сократить грядущий дефицит лесных ресурсов и сохранить от вырубке леса, выполняющие важные биосферные функции, в том числе противоэрозионные и почвозащитные, которые особенно актуальны для горных лесов [3].

Для перехода к устойчивому управлению лесами в ближайшей перспективе лесной отрасли Сибири необходимо ориентироваться на более широкое внедрение модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, которая предполагает повышение продуктивности лесов и комплексное использование лесных ресурсов. На практике это предполагает выделение участков лесорастительные условия которых соответствуют высокой потенциальной продуктивности лесов, где с использованием передовых технологий возможно получать лесную продукцию в значительно больших объемах и с сокращением сроков выращивания по сравнению со среднероссийскими показателями.

Интенсивная модель лесопользования является частью системы устойчивого управления лесами. Такая система должна базироваться на гармоничном сочетании интенсивной и экстенсивной моделях лесопользования. Начать следует с зонирования территории. По экспертным оценкам доля лесов интенсивной формы ведения хозяйства в Сибири составляет 10–15 % от площади лесного фонда, в которых можно заготавливать от 45 до 60 % от общего объема потребной лесной продукции. В лесах экстенсивной формы ведения хозяйства, доля которых составляет от 25 до 30 %, объемы лесозаготовок составляет 35–45 % [5].

Необходимо формирование и проведение новой лесной политики, соответствующей государственным интересам, учитывающей длительный жизненный цикл лесных экосистем, а не сиюминутные интересы отдельных корпораций и ведомств. В краткосрочной перспективе интенсификация лесопользования может быть обеспечена за счет вовлечения в хозяйственный оборот низкотоварной древесины посредством ее глубокой переработки. В долгосрочной перспективе решение проблемы снабжения лесопромышленного комплекса сырьем должно решаться за счет повышения продуктивности лесов лесохозяйственными мероприятиями, включающими использование методов плантационного лесовыращивания, эффективную охрану и защиту лесов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаев А.С., Коровин Г.Н.* Актуальные проблемы национальной лесной политики. М.: Институт устойчивого развития, Центр экологической политики России. 2009. 108 с.
2. *Кашипор Н.И.* Воспроизводство лесов: состояние и перспективы // Российская лесная газета. 2006. № 18–19. С. 6.
3. *Онучин А.А., Буренина Т.А.* Антропогенная динамика противоэрозионных и водоохранно-защитных функций леса в горно-таежных лесах Сибири // Лесоведение. 2000. № 1. С. 3–11.
4. *Онучин А.А., Соколов В.А., Втюрина О.П.* Перспективы интенсификации лесного хозяйства в Сибири // Лесное хозяйство. 2010. № 6. С. 11–12.
5. *Онучин А.А., Соколов В.А., Данилин И.М., Целитан И.А.* Стратегические задачи перехода к устойчивому управлению лесопользованием в Сибири // Реализация Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года в новых реалиях: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 16 декабря 2022 г.) Иркутск: Изд. дом Байкал. гос. ун-та, 2023. С. 74–80.
6. *Соколов В.А.* Перспективы развития лесного комплекса Сибири // Сиб. экол. журн. 2008. № 3. С. 361–369.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Чертов О.Г.¹, Припутина И.В.², Шанин В.Н.^{2,3},
Фролов П.В.², Быховец С.С.², Грабарник П.Я.²

¹ Бингенский политех. универ., Бинген, ФРГ, oleg_chertov@hotmail.com

² ИФХиБПП РАН, Пущино, irina_priputina@gmail.com, shaninvn@gmail.com,
s_bykhovets@rambler.ru, pavel_grabarnik@gmail.com

³ ЦЭПЛ РАН, Москва

Органическое вещество почв (ОрВП) с историческим названием «гумус» в широком понимании этого слова является доминирующим системообразующим продуктом почвообразования. Наряду с гидротермическим режимом, ОрВП определяет, как характер трансформации почвообразующей породы и формирования почвенного профиля, так и состав и биологическую продуктивность растительности и активность всей биоты в наземных экосистемах. В отличие от ранних представлений об относительной устойчивости ОрВП, в настоящее время выявлена его достаточно сильная «отзывчивость» на изменения растительности, всей биоты и природных условий, в том числе под влиянием антропогенных факторов. Это определяет необходимость исследования количественных закономерностей динамики ОрВП, особенно лесной растительности, где влияние почв на продуктивность насаждений выражена наиболее отчетливо.

Попытки математического описания накопления и разложения органических остатков и гумуса в почве были предприняты ещё в середине XX века [1, 6]. Однако реальное начало моделирования динамики ОрВП относится к последней трети XX века, когда была опубликована обстоятельная модель Ханта [5] и начался период разработки значительного количества имитационных моделей динамики ОрВП (см. обзор в [7]). Этот этап продолжается и поныне с обсуждением перспектив дальнейшего развития моделирования динамики ОрВП в связи с новыми вызовами в науке [2].

В настоящее время можно выделить два подхода к математическому имитационному моделированию динамики ОрВП.

Первый подход можно условно определить как традиционный биогеохимический. В общем виде здесь минерализация ОрВП описывается базовой функцией

$$dC/dt = -kiC,$$

где C – это органическое вещество почвы и/или опада, а ki это его минерализация за определенный временной интервал с разложением органического вещества до конечных продуктов (CO_2 и H_2O). Этот коэффициент вычисляется с учётом качества опада и ОрВП по содержанию в них азота (отношение $C : N$) и по другим характеристикам, а также по гидротермическим параметрам. Материалом для его вычисления служат результаты многочисленных полевых и лабораторных экспериментов по разложению растительных остатков и гумуса. При этом структура почвенной биоты и биохимические механизмы её работы отражаются в интегральном коэффициенте ki , хотя пул микроорганизмов присутствует во многих моделях. Формирование устойчивого ОрВП (гумификация) воспроизводится коэффициентами перехода от фракций неразложившегося опада к таковым устойчивого ОрВП (гумуса). Биогеохимический подход реализован в большинстве современных моделей с применением их для теоретического анализа поведения ОрВП в разных природных условиях, для количественной оценки влияния различных режимов хозяйственного использования, особенно в лесном хозяйстве, и для выявления трендов изменений почв в связи с антропогенным прессом и потеплением климата [2, 7]. Модели этого типа интегрируются в более крупные модели лесных и степных экосистем.

Второй подход к моделированию динамики ОрВП можно определить как биохимический (микробиологический). В общем виде здесь минерализация ОрВП описывается базовой функцией

$$dC/dt = -kjMB,$$

где C определено выше, MB – это биомасса почвенных микроорганизмов, потребляющих C для своего роста, kj – это минерализация ОрВП в зависимости от биомассы микроорганизмов. В более детальном представлении присутствует фаза разложения (деполимеризации) ОрВП ферментами микроорганизмов до растворимого органического вещества (DOC, dissolved organic carbon), которое потом и потребляется микроорганизмами. Этот подход возник как расширение моделей роста почвенных микроорганизмов, в которых ОрВП рассматривается как питательная среда для роста микробиологического сообщества в почве [3, 4]. Представляется, что в микробиологической модели делается акцент на микроорганизмы, а ОрВП рассматривается только с точки зрения качества «питания» микробиоты. В «биохимической» модели ОрВП дополнительно рассматриваются достаточно подробно динамические тренды изменений ОрВП как и при биогеохимическом подходе. Формирование устойчивого ОрВП в биохимическом подходе вычисляется с учётом мортмассы микроорганизмов и фиксации DOC на минеральной матрице и внутри почвенных микроагрегатов. Экспериментальной базой для компиляции моделей этого типа служат в основном лабораторные эксперименты. Биохимический подход используется в теоретическом анализе динамики системы «микробиота – ОрВП». В этом новом многообещающем подходе ещё имеется много задач в отношении оценки количественных параметров процессов микробной деполимеризации и минерализации ОрВП.

Для дальнейшего развития указанных модельных подходов будет необходимы (а) отражение в моделях роли всей почвенной биоты трофических сетей, (б) интеграция моделей ОрВП с таковыми растений для определения вклада микоризного симбиоза, ризосферного паразитизма и азотфиксации в динамику ОрВП и биологическую продуктивность, прежде всего, лесных экосистем, (в) модельная количественная оценка роли ОрВП во внутрпочвенном выветривании минеральной матрицы и формировании почвенного профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии почв. Учение о почвенном гумусе. Сельхозгиз, 1937. Репринт: 2012. Т8 Издательские технологии. 290 с.
2. *Berardi D., Brzostek E., Blanc-Betes E., Davison B., DeLucia E., Hartman MD., Kent J., Parton W.J., Saha D., Hudiburg T.W.* 21st-century biogeochemical modeling: Challenges for Century-based models and where do we go from here? // *GCB-Bioenergy*. 2020. Vol. 12, № 10. P. 774–788.
3. *Blagodatsky S., Blagodatskaya E., Yuyukina T., Kuzyakov Y.* Model of apparent and real priming effects: linking microbial activity with soil organic matter decomposition // *Soil Biology Biochemistry*. 2010. Vol. 42. ID 1275e1283.
4. *Huang Ye, Guenet B., Ciais P., Janssens I.A., Soong J.L., Wang Y., Goll D., Blagodatskaya E., Huang Yu.* ORCHIMIC (v 1.0): a microbe-mediated model for soil organic matter decomposition // *Geosci. Model Dev*. 2018. Vol. 11. P. 2111–2138.
5. *Hunt H.W.* A simulation model for decomposition in grasslands. *Ecology*. 1977. V. 58. P. 469–484.
6. *Jenny H., Gessel S.P., Bingham F.T.* Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci*. 1949. Vol. 69. P. 419–432.
7. *Komarov A., Chertov O., Bykhovets S., Shaw C., Nadporozhskaya M., Frolov P., Shashkov M., Shanin V., Grabarnik P., Pripulina I., Zubkova E.* Romul_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. I. Problem formulation, model description, and testing. *Ecological Modelling*. 2017. Vol. 345. P. 113–124.

СЕКЦИЯ

ГЕНЕЗИС ЛЕСНЫХ ПОЧВ. РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМИРОВАНИИ И ДИАГНОСТИКЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БУФЕРНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕСНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ

Дыдышко С.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В.

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, soil@tut.by

В природных условиях буферность зависит не только от твердых фаз почвы, но и от населяющих ее организмов, от интенсивности нисходящих или восходящих потоков влаги, нарушающих почвенно-химическое равновесие. Буферность в таких условиях приобретает черты динамического показателя и характеризует способность почв не только противостоять изменению рН при подкислении (подщелачивании), но и восстанавливать прежнее значение.

Рассмотрим особенности буферной способности на примере естественных дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на мощных лессовидных суглинках, расположенных на территории ГЛХУ «Минский лесхоз» Минского района Минской области. Растительность: ель, береза; в подлеске осина, рябина, лещина, крушина; напочвенный покров: кислица, папоротник, волчье лыко, жимолость, малина; водное питание атмосферное.

Определение кислотно-основной буферности почв проводили по методу Аррениуса [1]. Показатели естественной буферной способности (VBCe) в кислотном и щелочном интервале рассчитывали по формуле [2]:

$$VBCe = \frac{S_n}{S_1} \times 100,$$

где S_n – площадь буферности исследуемого образца, см²;
 S_1 – площадь буферности эталона (кварцевого песка), см².

Для оценки степени естественной буферной способности исследуемых почв использована шкала, разработанная П.П. Надточим (табл. 1) [2].

Таблица 1. Шкала оценки естественной буферной способности почв, %

Оценка показателя	Кислотный интервал	Щелочной интервал
Очень низкая	<15	<10
Низкая	16–40	11–30
Средняя	41–60	31–50
Высокая	61–80	51–70
Очень высокая	>81	>71

Оценка показателей кислотно-основной буферности основана на определении сдвига величины рН почвенных суспензий при добавлении к ним кислот или щелочей различной концентрации. В качестве базисной кривой использована кривая титрования суспензии кварцевого песка. Так, при действии на естественную почву дистиллированной воды величина рН изменяется от сильнокислой (4,4 единицы) в горизонте А₁ до кислой (5,2 единицы) в горизонте В_{2t} (табл. 2). При добавлении 3 мл НСl показатели рН снизились и составили 3,1–3,5 единиц по профилю почв, при добавлении 6 и 9 мл показатели рН постепенно снижались, а кислотность возрастала до сильнокислой реакции по всему профилю. При добавлении 3 мл NaOH показатели рН возросли от 6,1 в горизонте А₁ до 7,5 единиц в горизонте В_{2t}, а кислотность снизилась до близкой к нейтральной и слабощелочной реакции соответственно. При добавлении большего количества щелочи (9 мл) значения рН возросли до 7,2–9,6 единиц в пределах профиля, а кислотность снизилась до слабощелочной реакции по всему профилю.

Таблица 2. Результаты измерения показателей кислотно-основной буферности почв-объектов исследования

Реактив	Объем, мл						
	16	19	22	25	22	19	16
H ₂ O	16	19	22	25	22	19	16
0,1 М NaOH	9	6	3	–	–	–	–
0,1 М НСl	–	–	–	–	3	6	9
	pH _{NaOH}	pH _{NaOH}	pH _{NaOH}	pH _{H2O}	pH _{НСl}	pH _{НСl}	pH _{НСl}
кварцевый песок	12,45	12,23	11,90	7,11	2,49	1,93	1,68
Естественные почвы (под лесом)							
А ₁ , 4–9	7,2 ± 0,3	6,7 ± 0,2	6,1 ± 0,3	4,4 ± 0,1	3,2 ± 0,1	2,7 ± 0,1	2,4 ± 0,1
А ₁ А ₂ , 15–35	8,8 ± 0,3	8,1 ± 0,2	7,2 ± 0,3	4,7 ± 0,1	3,3 ± 0,1	2,7 ± 0,1	2,4 ± 0,1
В ₁ , 45–50	9,5 ± 0,4	8,6 ± 0,5	7,1 ± 0,3	4,8 ± 0,0	3,1 ± 0,1	2,6 ± 0,2	2,2 ± 0,1
В _{2t} , 60–70	9,6 ± 0,5	8,8 ± 0,4	7,5 ± 0,1	5,2 ± 0,2	3,5 ± 0,3	2,7 ± 0,2	2,3 ± 0,2

Далее на миллиметровой бумаге по оси абсцисс откладывали количество миллилитров добавленной кислоты или щелочи, а по оси ординат – соответствующие им величины кислотности (рН) (масштаб в 1 см – 2 мл НСl или NaOH; в 1 см – 1 единица рН). Построив таким образом кривые, оценивали буферность почв по «площадям буферности», которую определяли как разницу площадей между кривыми титрования почвы (S_n) и кварцевого песка (S₁) в щелочном и кислотном интервале.

Согласно полученным данным, площадь буферности естественных почв в щелочном интервале изменяется от 22,8 см² в горизонте А₁ (табл. 3) и постепенно снижается до 15,0 см² в горизонте В_{2t}, а естественная буферность снижается от 45,0 % до 29,5 % в аналогичных горизонтах. В кислотном интервале площадь буферности возрастает в этом же направлении от 2,3 см² до 2,6 см², снижаясь до 1,9 см² в горизонте В₁, а естественная буферность возрастает от 15,6 % до 16,8 % в аналогичных горизонтах, снижаясь до 12,8 % в горизонте В₁.

Таблица 3. Площади буферности почв-объектов исследования в щелочном и кислотном интервале относительно кривой буферности кварцевого песка

Генетический горизонт, глубина отбора образца, см	Площадь буферности		Естественная буферность	
	в щелочном интервале, см ²	в кислотном интервале, см ²	в щелочном интервале, %	в кислотном интервале, %
Естественные почвы (под лесом)				
А ₁ , 4–9	22,8 ± 1,0	2,3 ± 0,1	45,0 ± 2,1	15,6 ± 0,6
А ₁ А ₂ , 15–35	17,3 ± 1,1	2,4 ± 0,1	34,2 ± 2,1	16,1 ± 0,7
В ₁ , 45–50	15,8 ± 1,7	1,9 ± 0,5	31,0 ± 3,6	12,8 ± 2,5
В _{2t} , 60–70	15,0 ± 1,3	2,6 ± 0,6	29,5 ± 2,5	16,8 ± 3,3

Таким образом, естественные дерново-подзолистые почвы, сформировавшиеся на мощных лессовидных суглинках, в гумусовом аккумулятивном горизонте характеризуются «средней» степенью буферности к подщелачиванию и «очень низкой» – к подкислению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по химическому анализу почв для студентов IV курса специальности «Почвоведение» (Определение катионнообменной способности почв) / сост. О.А. Йонко. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. С. 16–18.
2. *Надточий П.П.* Определение кислотно-основной буферности почв / Почвоведение, 1993. № 4. С. 34–39.

ГОРНО-ЛЕСНАЯ ОПОДЗОЛЕННАЯ ПОЧВА КАРАБИ-ЯЙЛЫ (ГОРНЫЙ КРЫМ)

Костенко И.В.

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, Ялта, ik_64@bk.ru

Первые описания горно-лесных оподзоленных почв Крыма даны в монографии И.Н. Антипова-Каратаева и Л.И. Прасолова [1], где авторы приводят результаты изучения подзолистых почв на различных почвообразующих породах. В их число вошли подзолистые почвы на кристаллических породах (габбро-диабазы) под буковыми и дубово-грабниковыми лесами, сформировавшиеся, как правило, под сплошным покровом мха. Оподзоленность идентифицировалась по наличию осветленного (пепельного, пепельно-желтоватого, желто-серого) слабоструктурного поверхностного горизонта мощностью 5–15 см, подстилаемого комковатым, ореховато-комковатым, желтым или желто-бурым, более тяжелым и плотным переходным горизонтом, а также по степени ненасыщенности почв основаниями. Гумусовый горизонт в таких почвах морфологически не выражен из-за крайне низкой аккумуляции органического вещества под слоем мха. Подобные описания приведены для почв и на других материнских породах – продуктах выветривания песчаников, глинистых сланцев и известняков. Общим для этих почв является наличие маломощного гумусового горизонта, переходящего в оподзоленный горизонт, основным критерием выделения которого является более светлая окраска по сравнению с горизонтом В. Как отмечают авторы [1], крымские подзолистые почвы отличаются от почв северных лесов комковатой структурой, более тяжелым гранулометрическим составом и желтоватой окраской оподзоленного горизонта. При этом ни в одном из описаний оподзоленных почв Горного Крыма не упомянуто накопление кремнеземистой присыпки.

По данным М.А. Кочкина [4] наличие кремнеземистой присыпки отмечено в оподзоленных почвах на глинистых сланцах и песчаниках, причем, только на поверхности обломков соответствующих горных пород. Почвы на продуктах выветривания кристаллических пород и известняков отнесены к оподзоленным разностям по характеру окраски их профилей, иногда с учетом профильной дифференциации по гранулометрическому составу.

Как известно, основными ЭПП, ответственными за формирование минерального профиля оподзоленных лесных почв (дерново-подзолистых и серых лесных) являются разрушение силикатов и лессиваж [6]. Согласно результатам собственных исследований [2] горно-лесные почвы Крыма в пределах территорий, обследованных нашими предшественниками, не имеют четко выраженных признаков разрушения минералов в виде осветленных элювиальных горизонтов, обогащенных кремнеземистой присыпкой. Часто наблюдаемая текстурная дифференциация буроземов, сформировавшихся на верхнем пределе высот Главной гряды Горного Крыма (800–1200 м), обусловлена лессиважем ила, что подтверждается наличием глинистых кутан в срединных горизонтах горно-лесных почв [3].

Отметим, что речь о почвах под буковыми, грабовыми, дубовыми и сосновыми лесами, произрастающими на склонах и плато западной части Главной и Внутренней гряд, тогда как почвы восточной части горного массива Крыма, куда входят массивы Чатыр-Даг, Демерджи, Долгоруковская и Караби яйлы, до настоящего времени оставались малоизученными.

Результаты исследований горно-лесных почв Долгоруковской яйлы [3] показали, что в диапазоне высот 700–1000 м над ур. м. под пологом буковых и буково-грабовых лесов распространены буроземы кислые лессивированные на продуктах выветривания известняков без признаков оподзоливания. В качестве примера представлен один из разрезов, заложенный в буково-грабовом лесу на СВ склоне крутизной 20–25° на высоте 710 м (рис.), профиль которого состоял из комковато-порошистого, серого, рыхлого горизонта АУ, палево-бурого, глыбисто-ореховатого, плотного, тяжелосуглинистого, лессивированного В, темно-бурого, глыбисто-ореховатого, оглиненного по граням и ребрам агрегатов, легкоглинистого, плотного ВТ и темно-бурого, глыбистого, плотного, легкоглинистого ВС.

Ориентировочное количество осадков на прилегающей к разрезу территории около 800 мм, среднегодовая температура – +8 °С.

Содержание ила вниз по профилю лессивированной почвы резко увеличивалось (Кд = 2,8). В гумусовом горизонте содержалось 2,13 % Сорг, среднепрофильные значения рН и гидролитической кислотности (Нг) составили 4,54 единиц и 3,0 смоль (+)/кг, а насыщенность основаниями варьировала в пределах 63–87 %.

Разрез горно-лесной оподзоленной почвы на Караби-яйле (рис.) заложен на высоте 928 м под грабовым лесом, произрастающем на СВ склоне карстовой воронки крутизной около 15°. Увлажненность территории Караби-яйлы близка к Долгоруковской, но из-за разности высот среднегодовая температура ниже – около 6,5 °С.

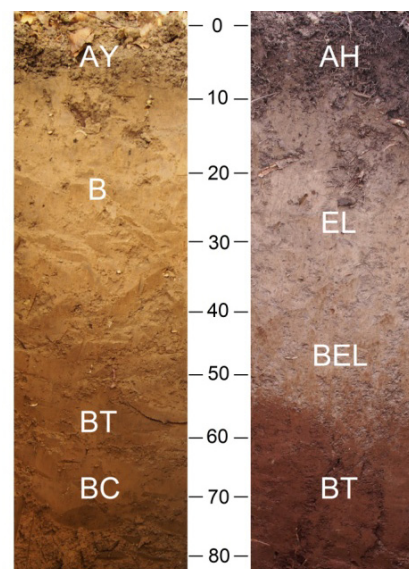
В профиле оподзоленной почвы выделены темно-серый, рыхлый комковато-порошистый, среднесуглинистый горизонт АН, светло-серый, рыхлый, комковатый с обильной кремнеземистой присыпкой, тяжелосуглинистый ЕL, буровато-серый, уплотненный, ореховато-комковатый с кремнеземистой присыпкой и затеками гумуса по граням структурных отдельностей, легкоглинистый ВЕL и бурый, очень плотный, вязкий во влажном состоянии, среднеглинистый ВТ. Почвообразующая порода – выщелоченные продукты выветривания известняков.

По степени текстурной дифференциации профиля (Кд = 2,6) оподзоленная почва близка к лессивированной почве Долгоруковской яйлы. Содержание Сорг в гумусовом горизонте составило 4,57 %. Кислотность оподзоленной почвы, судя по среднепрофильным значениям рН и Нг, выше по сравнению с лессивированной – 3,84 единиц и 9,8 смоль (+)/кг.

По морфологии профиля и базовым характеристикам оподзоленная горно-лесная почва Караби-яйлы близка к дерново-подзолистым и серым лесным почвам равнин [5], отличаясь лишь отсутствием субгоризонтальных структурных отдельностей в горизонте ЕL.

Оподзоленные горно-лесные почвы ранее не попадали в поле зрения исследователей, что обусловлено, по всей видимости, их локализацией под лесными насаждениями в пределах зоны карста Караби-яйлы, почвенный покров которой до настоящего времени изучен очень слабо.

Причины оподзоливания представленной в данном сообщении горно-лесной почвы не до конца ясны, но вряд ли они могут быть связаны лишь с кислотным гидролизом, поскольку множество изученных нами буроземов лессивированных кислых не имели заметных признаков разрушения почвенных минералов [2].



Профили лессивированной (слева) и оподзоленной (справа) горно-лесных почв Крыма

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антипов-Каратаев И.Н., Прасолов Л.И.* Почвы Крымского государственного лесного заповедника и прилегающих территорий. Тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева. Л.: Изд. АН СССР, 1932. 280 с.
2. *Костенко И.В.* Атлас почв Горного Крыма. Київ: Аграрна наука, 2014. 184 с.
3. *Костенко И.В., Опанасенко Н.Е.* Сравнительная характеристика горно-лесных и горно-луговых почв Долгоруковской яйлы (горный Крым) // Почвоведение. 2020. № 7.
4. *Кочкин М.А.* Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования // Труды Никит. ботан. сада. 1967. Т. 38. 368 с.
5. Красная книга почв Республики Татарстан / А.Б. Александрова, Н.А. Бережная, Б.Р. Григорьян, Д.В. Иванов, В.И. Кулагина. 1-е изд. Казань: Фолиант, 2012. 192 с.
6. Элементарные почвообразовательные процессы. Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. М.: Наука, 1992. 184 с.

ДЕРНОВО-КАРБОНАТНЫЕ ПОЧВЫ ГКУ «ЗАКАМСКОЕ ЛЕСНИЧЕСТВО» ПЕРМСКОГО КРАЯ

Лобанова Е.С.

*ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, Пермь,
evgeniyalobanova83@mail.ru*

Почвы влияют на произрастание древесных пород, некоторые породы – сосна, кедр, лиственница – хорошо растут на легких песчаных сравнительно бедных почвах, другие предпочитают суглинистые почвы. Почва определяет состав естественных насаждений, скорость роста и производительность лесообразующих пород, технические качества древесины и степень устойчивости леса к различным вредителям и болезням [1, 2].

На территории Ильинского городского округа Пермского края широко распространены дерново-карбонатные почвы, наблюдается высокая лесистость (от 30 до 90 %), а также высокий спрос на посадочный материал хвойных пород.

Объект исследования – дерново-карбонатные почвы ГКУ «Закамское лесничество» Ильинского городского округа Пермского края.

ГКУ «Закамское лесничество» находится в радиусе 2 км от поселка Ильинский. Климат округа умеренно-континентальный, тип водного режима промывной, рельеф холмисто-увалистый, леса хвойные или хвойно-широколиственные, породы красноцветные мергелистые глины с прослоями известняка и мергеля [3].

На территории ГКУ «Закамское лесничество» встречаются все подтипы дерново-карбонатных почв: типичные, выщелоченные и оподзоленные. Мощность профиля составляет 47–120 см. Глубина залегания карбонатов максимальная у оподзоленных – более 70 см, типичные вскипают с поверхности, это отрицательное свойство для хвойных пород.

По гранулометрическому составу все дерново-карбонатные почвы глинистые, содержание физической глины составляет 51,5–80,0 % (табл.). В профиле выщелоченных и оподзоленных дерново-карбонатных почв наблюдается вынос илистых частиц из гумусового горизонта и накопление их в средней части профиля, что является типичным при их формировании [3]. Плотность гумусового горизонта составляет 1,1–1,2 г/см³, пористость 52–60 %, что является благоприятным для развития корневых систем хвойных пород.

Содержание гумуса в гор. А₁ варьирует от 2,4 до 4,5 % и оценивается как низкое и среднее (табл.). С глубиной его содержание резко снижается до очень низкого и в средней и нижней частях профиля составляет 0,7–0,2 %.

Состав и свойства дерново-карбонатных почв ГКУ «Закамское лесничество»

Глубина, см	Содержание частиц, мм, %		Гумус, %	Мг-экв/100 г почвы			V, %	pH
	<0,001	<0,01		S	Hг	ЕКО		
Разрез 1. Дерново-карбонатная оподзоленная среднегумусная легкоглинистая на элювии известняков								
A ₁ (2-23)	40,1	62,7	4,5	32,4	0,9	33,3	97	5,7
A ₂ B (23-45)	48,9	69,4	0,5	32,6	2,4	35,0	93	4,2
B (45-77)	51,3	70,5	0,3	33,0	2,6	35,6	93	3,9
BC (77-120)	42,9	67,8	0,3	45,2	0,0	45,2	100	6,0
C (120-150)	35,5	62,9	0,2	41,2	0,0	41,2	100	6,6
Разрез 2. Дерново-карбонатная выщелоченная малогумусная легкоглинистая на элювии мергелей								
A ₁ (3-15)	37,3	58,8	2,4	22,4	1,9	24,3	92	4,7
B ₁ (15-33)	48,6	67,6	0,7	33,2	1,0	34,2	97	5,2
B ₂ (33-56)	53,4	79,7	0,4	41,4	0,9	42,3	98	5,6
C (56-83)	46,9	80,0	0,5	60,3	0,0	60,3	100	6,7
D (>83)	52,8	78,3	0,5	49,2	0,0	49,2	100	6,7
Разрез 3. Дерново-карбонатная типичная среднегумусная среднелинистая на элювии известняков								
A ₁ (2-25)	32,2	65,8	3,8	30,1	0,0	30,1	100	6,8
B (25-47)	25,9	63,3	0,3	45,3	0,0	45,3	100	6,7
C (47-75)	30,6	63,9	0,3	47,2	0,0	47,2	100	6,8
CD (75-119)	34,0	52,4	0,2	54,3	0,0	54,3	100	6,5
D (119-144)	28,0	51,5	0,2	30,1	0,0	30,1	100	6,8

Физико-химические свойства дерново-карбонатных почв ГКУ «Закамское лесничество» зависят от подтипа. Так, в почвенно-поглощающем комплексе присутствуют в основном обменные катионы кальция и магния, но в верхних горизонтах оподзоленных и выщелоченных дерново-карбонатных почв установлено наличие катионов водорода, где гидролитическая кислотность составляет 0,9–2,6 мг-экв/100 г почвы. Реакция среды в гумусовом горизонте оподзоленных и выщелоченных почв слабокислая и среднекислая, в нижележащих горизонтах наблюдается нейтральная реакция среды. В дерново-карбонатной типичной почве по всему профилю нейтральная реакция среды из-за высокого содержания карбонатов. В гумусовом горизонте преобладает средняя и умеренно высокая емкость катионного обмена, далее по профилю она возрастает до высокой. Степень насыщенности основаниями по всему профилю высокая. Обеспеченность изучаемых почв подвижным фосфором и обменных калием в корнеобитаемом слое почв повышенная и высокая.

Таким образом, дерново-карбонатные почвы ГКУ «Закамское лесничество» Ильинского района Пермского края в основном обладают оптимальными свойствами для произрастания хвойных пород, за исключением глинистого гранулометрического состава и высокого залегания карбонатов.

Правильно составленные севообороты, грамотное внесение органических и минеральных удобрений, выращивание древесных пород, имеющих высокий спрос в Пермском крае повысят рентабельность лесного питомника ГКУ «Закамское лесничество».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жигунов А.В.* Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для лесовосстановления. Автореф. дис. доктора сельскохозяйственных наук : 06.03.01 – лесные культуры, селекция, семеноводство. Санкт-Петербург, 1998. 46 с.
2. *Копцик Г.Н., Первова Н.Е.* Анализ структурно-функциональной организации лесных почв южной тайги как основа почвенно-экологического мониторинга Звенигородская биостанция МГУ // Лесоведение. 2010. № 1. С. 12–22.
3. *Протасова Л.А.* Генетическая характеристика и диагностика дерново-бурых и дерново-карбонатных почв Пермского края: монография. Пермь: Изд-во ПГСХА, 2009. 135 с.

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ И ТАКСАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ДРЕВОСТОЕВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА И ВОЗРАСТА ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ-МСХА

Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Шмакова К.А.

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва,
naumovsol@rgau-msha.ru, nl-povetkina@mail.ru, kshmakova@rgau-msha.ru*

Почва – важнейший компонент лесного биогеоценоза и в пределах однородного климатического района именно почвенные условия определяют жизнь леса. Почва определяет состав растений всех ярусов – от напочвенного покрова до древостоя, определяет его рост и развитие. Известно, что лесные почвы дают возможность изучать процессы почвообразования в их натуральном проявлении, а полнопрофильные почвенные профили – оценить как современные условия почвообразования, так и эволюционные изменения, происходящие в них. В связи с этим лесные почвы нужно рассматривать как уникальные природные лаборатории, позволяющие проследить и оценить развитие почв и почвенного покрова.

Для изучения почв и почвенного покрова под древостоями в условиях крупного города была выбрана Лесная опытная дача Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева. Это уникальная лаборатория под открытым небом, основанная в 1862 году, дает возможность изучить особенности роста древесных пород различного состава и возраста, их влияние на состав и свойства дерново-подзолистых почв, а также роль антропогенного фактора. Наличие датируемых постоянных пробных площадей (ППП) Лесной опытной дачи (ЛОД) позволяет оценить роль древесного сообщества на почвообразовательный процесс [1].

Цель исследования: изучить состояние древостоя различного состава и возраста в условиях многофакторного влияния окружающей среды.

Задачи исследования: 1. изучить морфогенетические особенности лесных дерново-подзолистых почв; 2. оценить влияние древесной растительности различного состава и возраста на почвенный покров и ботанический состав наземной растительности.

Для исследований были выбраны постоянные пробные площади (ПП) на Лесной опытной дачи (ЛОД). В таблице 1 представлена характеристика древостоя.

Таблица 1. Таксационно-лесоводственная характеристика постоянных пробных площадей

Пробная площадь	Возраст	Происхождение	Состав древостоя	Диаметр средний, см	Высота средняя, м	Класс бонитета	Полнота древостоя	Тип леса
П	137	Искусственное	5С2Б1Лп1В 1Д Кл + Е	32,8	25,6	II	0,86	Сосняк разнотравный
Ъ	141	Искусственное	9Б1ЛпД	27,3	31,8	I	1,2	Березняк разнотравный
13	76	Искусственное	9Б1Кл	26,0	28,4	Iб	1,32	Березняк разнотравный
Б	138	Искусственное	8С1Лп1Д+Кл ед.Б	26,8	29,8	II	1,12	Сосняк разнотравный

Изучение травянистого покрова ПП выявило следующие особенности: в хвойных древостоях травянистый покров не отличается разнообразием, здесь преимущественно встречается зеленчук желтый, звездчатка средняя. В лиственных древостоях покров более обильный и разнообразный, представлен в основном ландышем майским, гравилатом городским, вероникой дубравной, осокой волосистой, звездчаткой средней. Сравнивая данные, приводимые Нестеровым Н.С. [2], с полученными нами следует отметить, что за последние

70–80 лет видовой состав флоры ЛОД претерпел значительные изменения, особенно это относится к злакам. Нестеров Н.С. пишет о значительном участии их в напочвенном покрове территории. В проведенном нами обследовании злаки на исследуемых пробных площадях обнаружены не были. Не выявлено различий в видовом составе травянистой растительности под лиственными и хвойными разновозрастными насаждениями, о которых писал Нестеров Н.С. в 1935 г., что свидетельствует о значительных изменениях, протекающих в биогеоценозе под влиянием городской среды [2].

Анализ данных морфологического строения почв постоянных пробных площадей ЛОД показал различия в интенсивности проявления основных почвообразовательных процессов: дернового, подзолистого. По интенсивности проявления дернового процесса, показателем которого является мощность гумусового горизонта, выявлены следующие закономерности. На пробных площадях, занятых лиственными насаждениями (пробные площади Ъ и 13), сформировался наиболее мощный гумусовый горизонт, 27 и 31 см соответственно. Не выявлено влияния возраста насаждений на мощность гумусового горизонта. Так под более молодыми лиственными насаждениями, пробная площадь 13, мощность гумусового горизонта больше, по сравнению с лиственными насаждениями большего возраста на пробной площади Ъ. Мощность подзолистого горизонта на ПП Ъ и 13 составляла соответственно 17 и 23 см. Под хвойными древостоями мощность гумусового горизонта составляла на пробной площади П – 19 см, на Б – 22 см, мощность подзолистого горизонта была соответственно 20 и 23 см. На всех исследуемых пробных площадях отмечено преобладание дернового почвообразовательного процесса над подзолистым. При этом в почвах под лиственными насаждениями различного возраста коэффициент, показывающий соотношение мощностей гумусового и подзолистого горизонтов был соответственно – 1,4 и 1,6. Под хвойными насаждениями на ПП П коэффициент был 1,2, на ПП Б – 1,0. Содержание гумуса в верхних горизонтах почв изменяется от 3,98–4,21 % под лиственными древостоями и от 3,10 до 3,55 % под хвойными. Отношения Сгк: Сфк в почвах под лиственными древостоями составляет от 0,89 до 0,97, под хвойными 0,80–0,83. Почвы характеризуются кислой реакцией среды (3,58–4,35), низкой степенью насыщенности основаниями (39–48 %). Дерново-подзолистые почвы бедны подвижными формами фосфора и калия. Содержание подвижных форм фосфора изменяется в пределах от 5,74 до 6,48 мг/100 г почвы, содержание подвижных форм калия от 6,17 до 10,41 мг/100 г почвы. Почвы исследуемых ПП имеют легкий гранулометрический состав – супесчаные и легкосуглинистые. Особенностью их является значительное участие фракции песка (крупный, средний и мелкий). Различий в почвах под лиственными и хвойными древостоями по данному свойству не выявлено. Плотность верхних горизонтов составляет 0,9–1,0 г/см³, вниз по профилю она значительно повышается. Максимальная величина плотности приурочена к иллювиальному горизонту, где она составляет 1,41–1,87 г/см³. Полевая влажность в гумусовом горизонте под древостоями различного состава изменялась незначительно от 31,05 до 38,92 %. Вниз по профилю влажность уменьшалась до 15–18 %. Различий в почвах под лиственными и хвойными древостоями не выявлено.

Статья подготовлена в рамках программы «Приоритет 2030».

ЛИТЕРАТУРА

1. Наумов В.Д. Лесорастительная характеристика дерново-подзолистых почв лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева / В.Д. Наумов, Н.Л. Поветкина, К.А. Шмакова // Сборник трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 24–25 октября 2022 года. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 47–50.
2. Нестеров Н.С. Лесная опытная дача в Петровском-Разумовском под Москвой / Н.С. Нестеров; под общ. ред. В.Р. Вильямса. М.; Л.: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы, 1935. 560 с.

ПОЧВЫ ПЕСЧАНЫХ ДЮН ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАКАЗНИКА «МУРОМСКИЙ»

Новиков С.Г.

*Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск,
novikovsergey.nsg@gmail.com*

Песчаные дюны являются уникальными для Карелии природными объектами. Они представляют собой положительные формы рельефа, сформированные в результате действия эоловых процессов на восточном побережье Онежского озера. Данная территория представляет собой озерно-ледниковую равнину. На ее поверхности встречаются скальные обнажения и береговые валы, которые на отдельных участках подвергаются ветровой эрозии и, по существу, представляют собой дюны. Одно из наиболее крупных скоплений песчаных дюн расположено в Пудожском районе на территории ландшафтного заказника регионального значения «Муромский». Песчаный массив простирается параллельно береговой линии Онежского озера у основания мыса Бесов нос. С удалением от которой высота эоловых форм постепенно уменьшается.

На обследуемой территории заложены почвенные разрезы на 4 различных по мощности лесной подстилки песчаных дюнах. Произведен отбор почвенных образцов по слоям – лесная подстилка и далее по глубине с шагом 10 см (до глубины 70 см), в которых определены следующие физико-химические показатели: рН солевой вытяжки; валовое содержание углерода и азота. А также проведено определение валового химического состава почвы.

Почвы дюн представляют собой мощный слой песчаных эоловых наносов недифференцированный по морфологическим признакам на отдельные генетические горизонты, покрытый различным по мощности органогенным слоем лесной подстилки (до 10 см). Почвенный профиль имеет вид: О–С– псаммоземы типичные. Напочвенный покров представлен преимущественно зелеными мхами, вороникой, брусникой.

Слаборазвитые почвы формируются на полимиктовых песках, в валовом химическом составе которых диоксид кремния составляет 74–75 %. В профиле почвы с наиболее мощной лесной подстилкой (10 см) отмечена аккумуляция кремнекислоты в минеральном подподстилочном слое, в то время как в профиле, где лесная подстилка практически отсутствует, определено увеличение содержания окиси кремния по глубине. В целом перераспределение химических элементов не имеет признаков элювиально-иллювиальной дифференциации.

Песчаная толща, на поверхности которой мощность органогенного слоя достигает 5–10 см, характеризуется сильнокислой реакцией (рН 4,0–4,5). Лесная подстилка, в основном состоящая из опада сосны, мхов и другой растительности естественным образом подкисляет почву. Почвенные профили, на которых органогенный горизонт практически отсутствует, характеризуются среднекислой реакцией (рН 4,5–4,9). Минеральная часть исследуемых почв содержит мало гумуса, наблюдается некоторое его накопление в подподстилочных слоях. Отношение С : N составляет 5–7.

Проведенное исследование показало, что на территории прибрежной зоны заказника «Муромский» на эоловых отложениях формируются слаборазвитые почвы – псаммоземы типичные, которые являются азональными для Карелии.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Сабилов А.Т., Ульданова Р.А.

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань,
tasat@list.ru, railya.uldanova@mail.ru*

В лесных биогеоценозах Республики Татарстан протекают различные элементарные почвенные процессы, что отражается на формировании широкого спектра почв, различного генезиса и плодородия. Почвенный покров лесов региона представлен в основном подзолистыми, серыми лесными, коричнево-бурыми лесными, бурыми лесными, чернозёмными почвами, меньше распространены пойменные почвы, рендзины. Подзолы, подзолисто-оглеенные, подзолисто-болотные, болотные и дерново-глеевые почвы для выращивания продуктивных лесов имеют небольшое значение.

Подзолистые почвы преимущественно распространены в Предкамье Республики Татарстан, образуются в условиях промывного водного режима. Включают 4 подтипа почв: подзолы, типично-подзолистые, дерново-подзолистые, подзолисто-оглеенные. В лесах выявлены 3 вида дерново-подзолистых и типично-подзолистых почв: слабоподзолистые, среднеподзолистые, сильноподзолистые. Типично-подзолистые почвы формируются в основном при избыточном увлажнении, на мономинеральных песках, выделяются высокой кислотностью, низкой гумусированностью. Дерново-подзолистые почвы развиваются на покровных и делювиальных отложениях, имеют суглинистый и супесчаный гранулометрический состав, реакция водной вытяжки кислая и слабокислая. Здесь в отличие от типично-подзолистых почв ясно обособлен гумусовый горизонт мощностью в среднем 6–9 см. В дерново-сильно-подзолистых почвах мощность элювиального горизонта составляет 12–20 см. Характерна текстурная дифференциация профиля по содержанию физической глины и илистых частиц, с иллювиальным их накоплением, где выявлена наибольшая обменная кислотность. В гумусовом горизонте А1 с содержанием гумуса 4,3–7,5 % отмечена биологическая аккумуляция обменных катионов кальция и магния, подвижных соединений азота, калия, фосфора.

Серые лесные почвы формируются на лессовидных, облессованных, делювиальных суглинках, со строением профиля: А0+А1+А1А2+А2В+Вt+Вс+С. Мощность гумусового горизонта в серых лесных почвах изменяется в пределах 9–22 см, достигая в темно-серых до 25–29 см. От светло-серых к темно-серым лесным почвам уменьшается степень дифференциации профиля по элювиально-иллювиальному типу, интенсивность выноса тонкодисперсных частиц в горизонт Вt. Исследованные почвы подразделяются на подтипы: светло-серые лесные (содержание гумуса в горизонте А1 равно 3,1–4,8 %), серые лесные (3,9–6,1 %), темно-серые лесные (6,2–9,0 %). Светло-серые лесные почвы отличаются более светлыми оподзоленными горизонтами А1А2 и А2В, в темно-серых лесных выражена комковато-зернистая структура верхних слоев. Почвы обогащены обменными основаниями, подвижным азотом, калием, фосфором, верхние горизонты преимущественно среднесуглинистые и тяжелосуглинистые, имеют водопрочную структуру, развиты при автоморфных условиях увлажнения.

Коричнево-бурые лесные почвы формируются на карбонатных и бескарбонатных пермских породах, под влиянием почвообразовательных процессов: гумусонакопления и буроземообразования [1, 2]. Бурозёмы имеют строение профиля А0+А1+АВ+Вt+Вс+Сса, обладают высокой отструктуренностью гумусового слоя А+АВ, насыщенностью основаниями и обеспеченностью питательными веществами. В подтипах почв коричнево-бурые лесные типичные (А1 = 8–29 см) и коричнево-темно-бурые лесные (А1 = 22–38 см) не свойственна элювиально-иллювиальная дифференциация профиля по содержанию тонкодисперсных частиц и валовому составу. Коричнево-бурые лесные оподзоленные почвы образуются на элювии и элювии-делювиальных пермских отложений (выделены горизонты А1А2g, А2g, А2gВ), в условиях поверхностного переувлажнения. В этих почвах более выражена дифференциация

профиля по гранулометрическому и химическому составу, минимум ила и физической глины приходится на гумусовый горизонт. Горизонту А1 присущи: биогенное накопление СаО и Р₂О₅, высокое содержание гумуса (от 3,9–5,9 до 7,5–10,4 %), выраженная комковато-зернистая структура. Бурозёмы обогащены обменными основаниями (до 40–50 мг. экв/100 г), подвижными калием и фосфором. В лесных биогеоценозах распространены среднесуглинистые и тяжелосуглинистые почвы, встречаются супесчаные разновидности.

Бурые лесные почвы выделены на древнеаллювиальных супесчано-песчаных отложениях, часто подстилаемые суглинистыми породами, под пологом лиственных и хвойных лесов. Бурые лесные почвы приурочены к плоским вершинам бугров, верхним частям склонов, выровненным дренированным водораздельным плато, встречаются на четвертичных террасах рек Камы, Вятки, Волги. Строение профиля бурой лесной супесчаной почвы: А0+А1+АВ+В+ВС+С1+С2. В бурозёмах характерно накопление физической глины и илистых частиц (1–4,5 %) в верхних горизонтах. В горизонте А1 мощностью в среднем 9–12 см содержание гумуса составляет 1,3–3,3 %, убывая с глубиной. Более интенсивно процессы бурозёмообразования протекают на полиминеральных песках. Аккумуляция гумуса, элементов питания в верхних горизонтах, наличие суглинистой подстилающей породы повышает лесорастительные свойства бурых лесных почв.

Рендзины развиваются на карбонатных породах (известняках, пермских мергелях), формируясь на возвышенных местоположениях, склонах. В лесных биогеоценозах выявлены рендзины типичные со строением профиля А0+А1+АСса+Сса и рендзины выщелоченные – А0+А1+АВ+ВСа+Сса [3]. Мощность гумусового горизонта изученных почв составляет в основном 24–35 см, глубина залегания карбонатных слоев варьирует в пределах 42–81 см. Почвам характерна биогенная аккумуляция подвижных соединений азота, фосфора, калия и микроэлементов. Перегнойно-аккумулятивному горизонту присущи суглинистый гранулометрический состав, прочная комковато-зернистая структура, здесь содержание гумуса достигает 8,3–9,4 %, закономерно уменьшаясь ниже по профилю. Бурозёмы, рендзины и серые лесные почвы имеют от кислой до щелочной реакцию водной вытяжки.

Аллювиальные дерновые почвы формируются в прибрежных территориях рек, **аллювиальные луговые почвы** – в центральной пойме, в полугидроморфных условиях, на желтовато-бурых глинах. Мощность горизонта А1 аллювиальных луговых почв в пойме реки Свияги доходит до 29–31 см, содержание гумуса – до 5,6–7,9 %, что связано с интенсивным дерновым процессом. Присуще биогенное накопление обменных оснований, подвижных соединений калия и фосфора в верхних оструктуренных горизонтах, с высоким содержанием тонкодисперсных частиц. В нижних слоях количество перегноя снижается до 0,2–0,6 %. На пойменных почвах произрастают дубовые, вязовые, ольховые, ивовые насаждения.

В лесной зоне, Предкамье наиболее характерны подстилки типов муть, муть-модер и модер, а мор-модер и мор встречаются спорадически в хвойных лесах. В лесостепи Предволжья и Закамья наиболее присущи хорошо разложившиеся подстилки (муть, муть-модер), в сосняках и ельниках встречается среднеразложившаяся подстилка (модер). Почвенные исследования перспективны при установлении генезиса почв, зависимости разнообразия и продуктивности лесных насаждений от почвенно-грунтовых условий, оценке плодородия почвенного покрова, эволюции лесных почв при антропогенном воздействии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизуллин А.Х., Сабиров А.Т. Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах лесов Среднего Поволжья и Предуралья. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. 204 с.
2. Сабиров А.Т., Газизуллин А.Х. Почвенно-экологические условия произрастания еловых и пихтовых фитоценозов Среднего Поволжья. Казань: Изд-во «ДАС», 2001. 207 с.
3. Сабиров А.Т., Ульданова Р.А. Почвоведение. Почвы лесных биогеоценозов Среднего Поволжья. Учебное пособие для студентов по направлениям подготовки 35.04.01 Лесное дело и 35.04.09 Ландшафтная архитектура. Казань: ООО «АртПечатьСервис», 2018. 96 с.

ДИАГНОСТИКА ПОЧВ С БУРООКРАШЕННЫМ СЛАБОДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ В ГОРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Сымпилова Д.П.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, darimasp@mail.ru

В центральной горно-лесостепной части Западного Забайкалья в трансаккумулятивных и трансэлювиальных ландшафтах широко распространены почвы с буроокрашенным слабо дифференцированным профилем [3, 6, 7]. В трансаккумулятивных ландшафтах на склонах различных экспозиций на высотах от 620–850 м над ур. моря под мелколиственными и светлохвойными рододендроновыми-разнотравными лесами формируются серогумусовые (дерновые) почвы. Далее серогумусовые почвы переходят в буроземы грубогумусированные, которые формируются в трансэлювиальных ландшафтах (приводораздельные позиции) на высотах 850–950 м над ур. м. под сосново-лиственнично-березовыми богаторазнотравными лесами. Почвообразующей породой этих почв служат щебнистые и лессовидные суглинки.

Рассматриваемые почвы формируются в условиях резконтинентального сухого климата. Годовое количество осадков 250–300 мм. Больше всего осадков выпадает летом. Малый снежный покров и низкие зимние температуры воздуха способствуют длительному сезонному промерзанию почв.

Подобные почвы в Забайкалье под названием мерзлотных дерново-таежных были описаны Н.А. Ногоиной [5], М.М. Михайленко [4], Ц.Х. Цыбжитовым [8] и др.

Исследования генезиса и классификационной принадлежности этих почв с позиции принципов и подходов, рассмотренных в Классификации и диагностике почв России, представляют научный интерес.

Гумусово-аккумулятивные горизонты серогумусовых почв, включая лесную подстилку, имеют небольшую мощность, варьируют от 10 до 20 см. В средней части почвенного профиля наблюдаются признаки метаморфизма, которые диагностируются увеличением содержания илистой фракции, повышенным содержанием железа в вытяжке Тамма. Морфологически выражается в виде уплотнения, наличия комковатых агрегатов. Эти признаки свидетельствуют о педогенной структурной организации переходного горизонта. Цвет гумусовых горизонтов по шкале Манселла преимущественно буровато-темно-серый (10YR 4/2), переходных – АС буровато-серый (10YR 4/3).

Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивных горизонтах низкое с резким убыванием вниз по профилю. Почвы характеризуются слабокислой или нейтральной реакцией среды, имеют высокую степень насыщенности основаниями. Среди обменных катионов преобладает кальций. Гранулометрический состав – легкосуглинисто-супесчаный. Доминирует фракция мелкого песка и крупной пыли. Почвы характеризуются повышенным содержанием железа, максимальное содержание оксалаторастворимого железа наблюдается в гумусовых горизонтах. Это свидетельствует об интенсивности процессов выветривания. Среди окристаллизованных соединений несиликатного железа преобладают слабоокристаллизованные формы с последующим возрастанием их содержания с глубиной, что указывает на небольшую проработанность профилей педогенными процессами в условиях континентального климата. Содержание основных оксидов в профиле зависит от исходного состава пород. Валовой химический состав почв показывает, что заметной дифференциации минеральной части в почвах по содержанию полуторных оксидов не наблюдается.

Низкое содержание гумуса с резким падением вниз по профилю, отсутствие текстурной дифференциации отличает эти почвы от серых лесных. Согласно КиДПР [1], исследованные почвы идентифицируются как серогумусовые, которых не было в Классификации и диагностике почв СССР [2].

В приводораздельных позициях основных хребтов Западного Забайкалья широко распространены буроземы грубогумусированные, часто оподзоленные и остаточно-карбонатные. Для этих почв характерно поверхностное поступление органического вещества с формированием темного грубогумусового материала, состоящего из механической смеси органических остатков разной степени разложения с минеральными компонентами. Мощность материала составляет 6–8 см, который залегает на поверхности серогумусового горизонта. Признак служит основанием для выделения грубогумусированного подтипа.

Признаки оподзоливания в профиле морфологически диагностируются в виде осветленного материала, рассеянного в массе горизонта. Осветленный горизонт имеет легкосуглинистый гранулометрический состав и тонкопластинчатую структуру со скелетаной на поверхности пластинок.

Педогенная аккумуляция карбонатов непосредственно в мелкоземе в основном морфологически не выраженная и диагностируемая по вскипанию от HCl, служит основанием для выделения остаточно-карбонатного подтипа.

Гранулометрический состав – легкосуглинистый по всему профилю. В целом доминирует фракция мелкого песка и крупной пыли. Органо-аккумулятивный горизонт содержит большое количество средне- и слабоработавшее органического вещества, далее содержание гумуса резко падает вниз по профилю. Метаморфизм представлен педогенной структурной организацией минеральной массы с образованием комковато-пластинчатой структуры, повышенным содержанием ила и оксидов железа в вытяжке Тамма. Реакция среды от слабокислой до щелочной в почвообразующей породе. Почва насыщена основаниями по всему профилю, в поглощающем комплексе преобладают катионы кальция.

Таким образом, в соответствии с принципами и подходами, рассмотренные в КиДПР, были впервые выделены и диагностированы почвы с бурым слабодифференцированным профилем. Серогумусовые почвы и буроземы грубогумусированные формируются в условиях холодного аридного климата Западного Забайкалья, под сильным влиянием исходного материала и рельефа. Для этих почв характерен ярко выраженный процесс гумусонакопления, переход от гумусово-аккумулятивной части непосредственно к почвообразующей породе, что отражено в морфологии и свойствах. Почвы имеют равномерно прокрашенный буровато-темно-серый цвет гумусово-аккумулятивных горизонтов, желтовато-бурый или палево-бурый – структурно-метаморфических горизонтов, что связано с красящими пленками оксидов железа. В профиле буроземов грубогумусированных развивается сиаллитное выветривание, серогумусовых почв – слабовыраженные признаки метаморфических процессов. Слабо выраженные процессы внутривертикального перераспределения веществ свидетельствуют о «литогенности» исследованных почв. Педогенная аккумуляция карбонатов происходит на уровне признаков процессов, которые унаследованы от почвообразующих пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Классификация и диагностика почв России / Ред. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
3. Корсунов В.М., Гынинова А.Б., Сымпилова Д.П., Балсанова Л.Д., Корсунов А.В. Разнообразие почв подтайги Селенгинского среднегорья // Почвоведение. 2002. № 5. С. 545–551.
4. Михайленко М.М. Почвы южной тайги Западного Забайкалья. М.: Наука, 1967. 157 с.
5. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
6. Сымпилова Д.П., Бадмаев Н.Б. Почвообразование в ландшафтах контакта тайги и степи Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 140–151.
7. Сымпилова Д.П., Гынинова А.Б. Почвы подтаежных ландшафтов северных отрогов хребта Цаган-Дабан Селенгинского среднегорья // Почвоведение. 2012. № 3. С. 270–275.
8. Цыбжитов Ц.Х. Почвы лесостепи Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Бур. кн. изд-во, 1971. 108 с.

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ПРИБРЕЖНЫХ ЛЕСОВ РЕКИ ВОЛГИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Ульданова Р.А.

*Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан, Казань, railya.uldanova@mail.ru*

Лесные биогеоценозы правобережья реки Волги в пределах Республики Татарстан расположены в природном районе Предволжье, который по характеру почвенного и растительного покрова относится к лесостепной зоне. По рельефу высокое правобережье реки Волги характеризуется холмистой местностью, где лесные экосистемы выполняют водоохранную, почвозащитную функции, являются местом сохранения разнообразия растений и почв. При формировании продуктивности и разнообразия лесных фитоценозов важнейшим экологическим фактором является почва.

В Предволжье количество выпадающих осадков, температурные условия способствуют активному разложению растительных остатков, гумусонакоплению, буроземообразованию, протеканию дернового процесса, при избыточном грунтовым увлажнении почв – оглеению нижних горизонтов, при повышении поверхностного увлажнения – выщелачиванию [1]. Под пологом лесных насаждений исследованы серые лесные почвы на лессовидных и делювиальных суглинках, рендзины на известняках и пермских мергелях, аллювиальные луговые почвы на суглинистых и глинистых отложениях, коричнево-бурые лесные почвы на элювии пермских пород, насыщенных оксидами алюминия, железа [2, 3]. Типичные и выщелоченные рендзины распространены в береговой зоне, где карбонатные отложения залегают на глубине 53–81 см. У бурозёмов почвообразующие породы вскрыты на глубине 98–143 см, выявлены подтипы: коричнево-бурые лесные типичные и коричнево-темно-бурые лесные почвы. В аллювиальных почвах со строением профиля A0+A1+AB+BC1+Cg2, развитых в береговой зоне, в нижней части профиля часто отмечены признаки оглеения.

Формирование органического вещества лесных почв происходит при влиянии биогеогоризонта A0, параметры которого различаются в зависимости от состава насаждений, почвенно-грунтовых условий. Коэффициент вариации мощности подстилок различных типов леса доходит до 28,6–46,2 %. Наибольшие средние значения данного параметра (4,1–4,4 см) обнаружены в сосняках, в лиственничниках снижается до 2,9–3,4 см. Высоким накоплением запасов лесной подстилки выделяются сосновые экосистемы (31,8–38,2 т/га), в лиственных формациях этот показатель составляет 6,3–21,0 т/га. Для прибрежных лесов наиболее характерны хорошо разложившиеся подстилки (муль, муль-модер), среднеразложившаяся подстилка (модер) встречается реже – в сосновых насаждениях.

В темно-серых лесных почвах мощность перегнойно-аккумулятивного горизонта составляет 21–25 см, серых и светло-серых лесных – 11–22 см, рендзинах – 20–33 см, аллювиальных луговых – 7–10 см, коричнево-бурых лесных – 14–37 см. Значительные вариации глубин залегания отмечены для насыщенных органикой горизонтах A0, A1 и иллювиальных горизонтов Bt, Vca бурозёмов (26–34 %). Почвы по содержанию в горизонте A1 гумусовых веществ располагаются в следующем возрастающем ряду: светло-серые лесные (3,1–3,5 %) и аллювиальные луговые (3,3–4,2 %), коричнево-бурые лесные, серые лесные, рендзины выщелоченные (3,9–5,9 %), коричнево-темно-бурые лесные, темно-серые лесные и рендзины типичные (6,2–8,3 %). Гумусовые горизонты темно-серых лесных, коричнево-темно-бурых лесных почв и рендзин характеризуются выраженной комковато-зернистой структурой, где присущи более высокие показатели коэффициента структурности (6,5–18,2). В горизонте A1 бурозёмов количество агрегатов размером 1–7 мм равно 49,8–80,4 %, в рендзинах достигает 59,0–84,4 %. Лесная растительность способствует гумусонакоплению в почвах, лесные почвы становятся резервуаром аккумуляции углерода в ландшафтах лесостепи.

Реакция солевой вытяжки по профилю изменяется от кислой в верхних горизонтах до щелочной в карбонатных материнских породах. Аллювиальным почвам характерна слабокислая реакция почвенного раствора во всем профиле. Почвы насыщены обменными кальцием и магнием, что способствует интенсивному накоплению органического вещества.

Прибрежные леса способствуют накоплению гумусовых веществ в почвах в 1,5–1,9 раз больше по сравнению с пахотными горизонтами. Возрастание образования структурных агрегатов в лесных почвах до 17,1–39,5 % свидетельствует о высокой почвозащитной роли прибрежных лесных насаждений. Дубовые и липовые фитоценозы с богатым разнообразием растений оказывают существенное воздействие на увеличение гумусовых веществ почв, относительно меньшее влияние лесной растительности выявлено в сосняках.

В лесу продуктивность древостоев зависит от развития почвенного профиля, обеспеченности почвообразующих пород питательными веществами, видовое богатство трав – от физических и физико-химических свойств гумусированного слоя почв. В ряду от аллювиальных луговых и светло-серых лесных почв к рендзинам и серым лесным почвам возрастают их лесорастительные свойства, с наибольшими показателями в темно-серых лесных почвах и буроземах, богатых обменными основаниями, подвижными соединениями фосфора, калия, микроэлементами. В серых лесных почвах содержание доступных для растений элементов питания варьирует в широком диапазоне значений: подвижного фосфора 35–248 мг/кг, подвижного калия 77–207 мг/кг. В буроземах количество подвижных соединений фосфора в минеральных горизонтах составляет 13–258 мг/100 г, калия – 104–272 мг/100 г. Гумусированные горизонты почв обогащены аммонийным азотом.

В лесных биогеоценозах более высокими запасами органического вещества в слое 0–60 см обладают темно-серые лесные (234 т/га), коричнево-темно-бурые лесные почвы (307 т/га) и рендзины (334 т/га). В автоморфных почвах запасы подвижного фосфора в верхнем слое 0–50 см составляют 0,19–1,11 т/га, калия – 0,42–2,92 т/га. Аллювиальная луговая почва обладает относительно меньшим запасом питательных веществ. Тип лесорастительных условий на серых лесных почвах, буроземах, рендзинах – Д₂ (свежая дубрава), на аллювиальных почвах – С₃ (влажная сложная суборь).

В правобережье реки Волги произрастают различные по составу, возрастной структуре, продуктивности леса естественного и искусственного происхождения. Высокой продуктивностью выделяются культуры сосны и лиственницы (древостои Ia–I классов бонитета), далее следуют липовые и березовые фитоценозы (I–II классы бонитета), изредка встречаются березняки Ia класса бонитета. Относительно меньшая продуктивность присуща дубовым и кленовым насаждениям (доминируют древостои II–III классов бонитета). Менее устойчивы к неблагоприятным климатическим факторам березовые леса, произрастающие на открытой местности и рендзинах. Коричнево-бурые лесные и серые лесные почвы региона обладают наиболее высокими лесорастительными свойствами, способствуют формированию устойчивых лесных фитоценозов с богатым флористическим составом. Различные по генезису и свойствам лесные почвы обеспечивают функционирование разнообразных лесных фитоценозов в прибрежных ландшафтах реки Волги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Почвоведение. Учеб. для ун-тов. В 2 ч. / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г.Д.Белицина, В.Д. Васильевская, Л.А.Гришина и др. М.: Высш. шк., 1988. 400 с.
2. Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Почвенно-экологические условия произрастания лесной растительности правобережья реки Волги // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 4. С. 26–35.
3. Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Роль прибрежных лесных экосистем Предволжья в сохранении разнообразия растений и почв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 2. С. 520–524.

ФЕНОМЕНЫ ТАЕЖНО-МЕРЗЛОТНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Чевычелов А.П., Ермолаева С.В., Кузнецова Л.И.

*Институт биологических проблем криолитозоны СО АН, Якутск,
chev.soil@list.ru*

В почвенном покрове Центрально-Якутской таежно-аласной провинции мерзлотно-таежной области бореального пояса Восточной Сибири выделяются лесные почвы элювиального ряда, такие как подзолы и солоды, сформированные совершенно различными элементарными почвообразовательными процессами (ЭПП) (оподзоливание и осолодение), развивающиеся в различных щелочно-кислотных условиях почвообразования [1, 2]. Зачастую данные различные типы почв могут располагаться в непосредственной близости, формируясь под лесной растительностью на одних и тех же почвообразующих породах в условиях криоаридного климата Центральной Якутии и сплошного распространения многолетней мерзлоты.

Климат исследованной территории был оценен по показателям метеостанции Якутск. Климат г. Якутска и его окрестностей резко континентальный и засушливый с длительной, крайне морозной и малоснежной зимой, с коротким относительно жарким и засушливым летом. При этом среднемесячная температура июля составляет (18,7 °С), января – (–43,2 °С), среднегодовая температура – (–10,3 °С), среднегодовое количество осадков – 234 мм, количество осадков за вегетационный период – 143 мм, испаряемость – 502 мм, коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову – 0,3, коэффициент континентальности – 302 и сумма активных температур – 1565 °С [3].

Изучаемые почвы, то есть мерзлотный подзол иллювиально-гумусово-железистый разр. 2БС-18 и мерзлотная солодь разр. 6БС-18 были описаны нами на территории Якутского ботанического сада, в окрестностях г. Якутска, на II надпойменной террасе р. Лена, на рыхлых иллювиальных отложениях легкого гранулометрического состава, представленных полимиктовыми песками и супесями. Различия в местоположении данных почв заключались только в рельефе: солодь располагалась в мезопонижении, а подзол – на мезоповышении данной террасы. Границы контуров этих почв находились на удалении около 60 м, а превышение высоты рельефа составляло 4 м. Приведём краткие географические характеристики исследуемых почв.

Разрез 2БС-18 заложен на мезоповышении, на участке коренного смешанного сосново-березово-лиственничного леса, напочвенный покров – кустарничково-зеленомошный. Географические координаты: широта – 62°01'18,2"N, долгота – 129°37'23,2"E, абсолютная высота – 101,2 м над ур. м. Морфологическое строение профиля: O(0-4)–A0(4-12)–A2(12-16/18)–Bf(16/18-34/37)–Bh,f (34/37-48)–BCf(48–75 см).

Разрез 6БС-18 заложен в микропонижении на контуре сосново-березового леса с разреженным напочвенным зеленомошно-кустарничково-разнотравным покровом. Координаты места заложения почвенного разреза: 62°01'19,1"N, 129°37'26,0"E, Н – 97,2 м. Строение профиля: O(0-4)–A0(4-7)–A1A2(7-12)–A2(12-30/35)–BCsa(30/35-76)–C (76–100 см).

Подзол характеризуется в основном слабокислой реакцией среды, аккумулятивно-элювиально-иллювиальным типом гумусового профиля, насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса (ППК) катионами Ca⁺² и Mg⁺², песчано-супесчаным гранулометрическим составом. У солоды значения рН_{н2о} повышены, особенно в нижних гор. ВС и С, тип гумусового профиля аккумулятивный, отмечается меньшее содержание обменного Н⁺ в ППК, сильно дифференцированной по элювиально-иллювиальному типу легко- и тяжелосуглинистый гранулометрический состав (табл.).

О генетической сущности мерзлотных подзолов. Нами выдвигается гипотеза формирования полнопрофильных подзолов в ландшафтно-климатических условиях Центральной

Якутии за счет кратковременного поздневесеннего надмерзлотного переувлажнения оттаивающего слоя, сопровождающегося процессами оглеения и кислотного гидролиза с последующим выносом тонкодисперсных продуктов почвообразования в нижележащие горизонты почвенного профиля. При этом главенствующая роль в формировании подзолистого процесса в данных условиях отводится местоположению почв в рельефе, дренирующим способностям почвообразующих пород и наличию многолетней мерзлоты [2]. В целом данный ЭПП может быть определен как *криогенное альфегумусовое оподзоливание*.

Физико-химические свойства мерзлотных лесных почв элювиального ряда Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	pH _{H2O}	Гумус, %	Обменные катионы, моль (экв) / 100 г почвы			Сумма частиц, %		СО ₂ карбонатов, %
				Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	<0,001 мм	<0,01 мм	
Подзол иллювиально-гумусово-железистый, разрез 2БС-18									
О	0-4	5,7	88,7*	–	–	–	–	–	–
A0	4-12	5,1	46,4*	23,1	10,9	2,8	–	–	–
A2	12-18	4,7	3,4	3,8	1,2	2,6	4,8	12,5	–
Bf	20-30	5,6	0,8	2,2	1,7	0,2	3,2	5,3	–
Bh,f	38-48	6,0	1,6	8,7	1,7	0,7	5,7	19,3	–
BCf	48-58	6,3	0,3	3,5	1,6	0,2	4,0	7,7	–
Солодь, разрез 6БС-18									
О	0-4	6,2	75,3*	–	–	–	–	–	–
A0	4-7	6,2	69,5*	73,0	31,7	1,1	–	–	н.о.
A1A2	7-12	5,5	8,5	11,7	5,8	1,1	7,8	25,6	-/-
A2	15-25	5,6	0,8	4,0	2,0	0,7	8,5	20,1	-/-
BC	40-50	6,8	0,8	7,0	5,0	н.о.	12,2	29,4	4,3
С	85-95	8,0	0,7	5,2	3,1	-/-	16,2	43,1	4,2

Примечание: * – приведено значение потери при прокаливании; н.о. – не обнаружено, прочерк – не определено.

О генетической сущности мерзлотных солодей. Аналогичная гипотеза может быть предложена и для объяснения генезиса солодей, формирующих под лесной растительностью, но с определенными дополнениями. Во-первых, солоды в отличие от подзолов развиваются в транс-аккумулятивных фациях ландшафтов, по западинам рельефа и характеризуются затрудненным внутрипочвенным дренажом. При этом в почвенных растворах накапливаются катионы Na⁺ и Mg⁺², обуславливающие солонцеватость ППК почв и щелочную реакцию среды. В этом случае разрушение алюмосиликатной части почв и вынос тонкодисперсных продуктов в нижележащие иллювиальные горизонты происходит под влиянием щелочного гидролиза, а относительное накопление SiO₂ в элювиальном гор. А2 отмечается в форме аморфной кремнекислоты, а не в виде остаточного кварца, как это наблюдается в подзолах. Этот основной мерзлотный ЭПП, способствующий формированию солодей в ландшафтно-климатических условиях Центральной Якутии, можно определить, как *криогенное осолодение*.

Данные криогенные почвообразовательные процессы имеют решающее значение для формирования свойств, состава и режимов изучаемых мерзлотных почв, при этом даже при незначительной вариабильности факторов-почвообразователей в криолитозоне Центральной Якутии отмечаются значительные изменения направления и темпов течения почвообразовательных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
2. Скрыбыкина В.П. Подзолы Центральной Якутии // Наука и образование. 2017. № 2. С. 83–90.
3. Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П., Васильева Т.И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.

СЕКЦИЯ

ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ПОЧВ. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

МЕТАЛЛЫ В ВОДОСБОРНЫХ ПОЧВАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАКАЗНИКА «ШОРСКИЙ»

**Александрова А.Б., Иванов Д.В., Валиев В.С., Зиганшин И.И.,
Хасанов Р.Р., Солодникова О.М.**

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, adabl@mail.ru

Государственный природный зоологический заказник регионального значения «Шорский» расположен в подзоне южной тайги на территории трех муниципальных районов Республики Татарстан (РТ) на границе с республикой Марий Эл. Заказник общей площадью 10 715 га был создан в 2019 году и включает три участка: Айшинский, Ислейтарский Шорский [2]. Территория заказника относится к Илетско-Ашитскому возвышенному району с широколиственно-пихтово-еловыми неморально-травяными и сосново-еловыми лесами (с доминированием сосны и ели), а также в составе фитоценозов произрастают смешанные леса с мелколиственными породами деревьев [1].

Исследования почв проводилось нами катенарным методом, донных отложений (ДО) – методом отбора кернов на Ислейтарском участке заказника, представленным лесным фитоценозом, произрастающим на правом берегу р. Илеть – притока р. Волга с несколькими (пойменными) старичными озерами, узкой серповидной формы, вытянутыми с севера на юг и с запада на восток. Рельеф территории холмисто-волнистый, местами с лентообразными протяженными понижениями рельефа. Почвообразующие породы – делювиальные и древнеаллювиальные отложения.

В отобранных горизонтах четырех разрезов и кернах ДО определяли: гранулометрический состав, pH водной вытяжки, содержание органического вещества методами ГОСТ, кислоторастворимые (валовые) ($5n \text{ HNO}_3$) и подвижные формы Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe (ацетатно-аммонийный буфер, pH 4.8).

Исследования показали, что почвенный покров заказника представлен почвами постлито-генного отдела: дерново-подзолами (отдел альфегумусовых почв), серыми глееватыми (отдел текстурно-дифференцированные) типами почв. Синлитогенные почвы представлены аллювиальными серогумусовыми глееватыми почвами. Гранулометрический состав дерново-подзолов почв и аллювиальных гумусовых почв песчаный, серых глееватых – легкосуглинистый (табл. 1). pH водной вытяжки исследованных почв находится в интервале слабокислой градации (5.5–6.5). Наиболее кислая реакция среды наблюдается в элювиальном горизонте дерново-подзолов и серых глееватых почв, что является характерной особенностью данных типов почв. Содержание органического вещества (ОВ) в изученных почвах варьирует от низкого до среднего. Дерново-подзолы и аллювиальные серогумусовые глееватые почвы характеризуются невысоким, серые глееватые – средним содержанием гумуса (табл. 1).

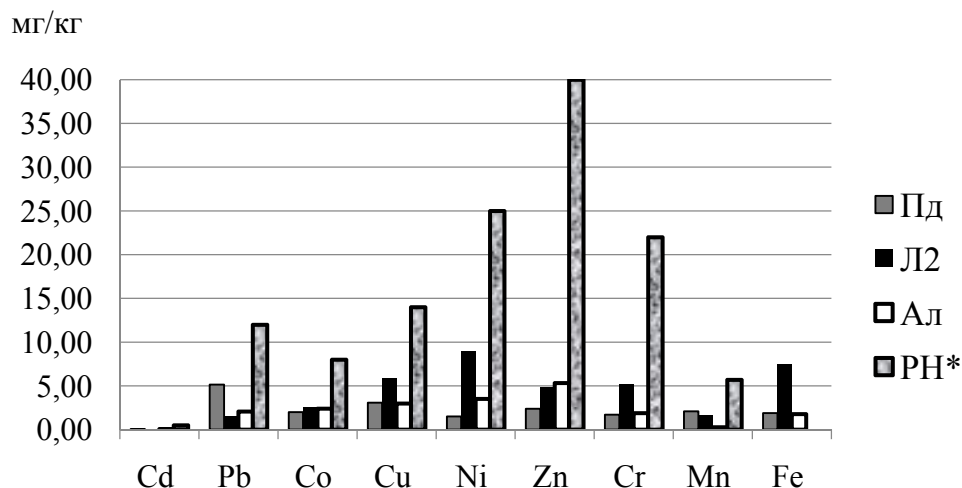
Таблица 1. Свойства почв, литорали и профундали ДО озер заказника «Шорский»

Объект	ОВ, %	Гранулометрический состав (мм), %						
		1.0-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	< 0.01
Дерново-подзолы	2,3	3,2	81,2	6,0	1,4	2,6	5,6	9,6
Серые глееватые	3,8	3,0	67,2	5,5	3,4	11,9	9,0	24,3
Аллювиальные серогумусовые глееватые	1,4	1,3	89,5	1,6	1,4	4,2	2,1	7,6
Литораль	9,6*	19,7	31,2	20,3	4,1	11,1	13,7	28,8
Профундаль	8,7*	6,6	56,5	12,6	5,1	8,5	10,8	24,4

* В ДО определялось по потере при прокаливании (%)

Донные осадки по гранулометрическому составу можно отнести к песчанистым илам, содержание частиц размером менее 0.01 мм в литорали и профундали озер не превышает 30 %. Содержание ОВ в ДО озер в 2–5 раз больше, чем в почвах водосборной территории (табл. 1). По содержанию ОВ, определяемого весовыми потерями при прокаливании, ДО относятся к группе минеральных осадков: они содержат не более 10 % ОВ. В среднем содержание ОВ в ДО составляет 9,3 %, что является характерным для озер Предкамья РТ.

Литологические особенности обуславливают невысокое содержание химических элементов в изученных почвах и не превышают установленных региональных нормативов содержания кислоторастворимых форм [3] (рис.). Высокую подвижность в исследованных почвах проявляют Cd, Pb, Co, Zn.



Содержание кислоторастворимых форм элементов в серогумусовом горизонте почв заказника «Шорский»

РН* – Региональные нормативы содержания кислоторастворимых форм металлов почвах РТ

Сравнение концентраций металлов в ДО заказника с региональными нормативами [4] показало отсутствие значимых превышений (более чем в 2 раза) (табл. 2).

Таблица 2. Содержание металлов в литорали и профундали ДО старичных озер заказника «Шорский»

Зона озера	Cd	Pb	Co	Cu	Ni	Zn	Cr	Mn
Литораль	0,47	5,43	5,33	11,15	18,59	12,42	15,71	142,68
Профундаль	0,14	10,66	6,32	11,35	18,89	12,59	10,77	174,68

Таким образом, полученные данные позволяют говорить о том, что геохимические особенности почв водосборной территории и донных отложений старичных озер заказника «Шорский» могут быть использованы в мониторинговых исследованиях в качестве фоновых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолаев О.П., Игонин М.Е., Бубнов А.Ю., Павлова С.В. Ландшафты республики Татарстан. Казань: Слово, 2007. 411 с.
2. Особо охраняемые природные территории Республики Татарстан. URL: <http://ojm.tatarstan.ru/rus/oort-reestr-perechen.htm> (дата обращения 11.06.2023).
3. Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Республики Татарстан». Приказ Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 30.12.2015 № 1134-к.
4. Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан». Утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 27.03.2019 г. № 316-п.

ПОЧВЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПОЧВАХ ЛЕСОТУНДРЫ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ: ЗАПАСЫ И СТАБИЛЬНОСТЬ

Алексеев И.И.¹, Шенин А.А.², Четверова А.А.¹

¹ Арктический и Антарктический НИИ, Санкт-Петербург, alekseevivan95@gmail.com

² Научный центр изучения Арктики, Салехард

Почвы полярных регионов до недавнего времени чаще всего рассматривались с позиций оценки биоклиматических параметров, тогда как литологические особенности часто не принимались в расчет. Качественные и количественные исследования органического вещества почвы имеют решающее значение, поскольку огромное количество органического углерода, хранящегося в мерзлотных почвах, может подвергнуться высвобождению, вызванному увеличением доступности органических соединений растительного происхождения и повышением температуры. Наша работа направлена на оценку запасов органического углерода, оценку степени гумификации органофилов почв (по показателю Сгк/Сфк), характеристику молекулярной организации органического вещества почвы, определение его потенциальной уязвимости в различных районах Ямало-Ненецкого автономного округа (районы с различной антропогенной нагрузкой в окрестностях пос. Новый Порт, Ныда, г. Новый Уренгой, г. Салехард). Наблюдаемое в исследованных почвах преобладание углерода фульвокислот, наряду с преобладанием низкомолекулярных фрагментов во фракциях фульвокислот, указывает на повышенные риски минерализации в системе гуминовых веществ полярных почв в условиях дальнейшего потепления арктического климата. Хотя во всех исследованных образцах соотношение Сгк : Сфк было меньше 1, стоит отметить, что наиболее широкое (0,80) отношение Сгк : Сфк характерно для грубогумусовой глееватой среднесуглинистой почвы на многолетнемерзлых суглинках (лесотундра в окрестностях г. Новый Уренгой), что свидетельствует о наиболее активной гумификации в условиях поступления в почву растительного опада, обогащенного лигнинсодержащими фрагментами именно в лесотундрах. Соотношение Сгк : Сфк может быть использовано для прямой оценки уровней стабильности органического вещества почвы, а также рисков его деградации и минерализации. В свою очередь, наиболее низкие показатели отношения Сгк : Сфк характерны для торфяных почв, что связано с консервацией и замедленной гумификацией растительных остатков. Это еще раз демонстрирует важность исследований почвенного органического вещества и его состава, особенно в мерзлотных почвах, поскольку они являются одним из основных источников нестабильного почвенного органического углерода. Твердотельная ¹³C-ЯМР спектроскопия гуминовых кислот, выделенных согласно общепринятой методике International Humic Substances Society, показала низкое количество ароматических фрагментов в большинстве исследованных почв. Все изученные почвы характеризуются

преобладанием алифатических структур, а также углеводов, полисахаридов, простых эфиров и аминокислот. Было обнаружено, что все исследованные гуминовые кислоты имеют наиболее интенсивные пики в районе 175 ppm, что соответствует карбоксильной С-группе. Это объясняет более интенсивную гумификацию в мелкоземе этих почв вместе с образованием более развитой периферийной алифатической части гуминовых кислот. Результаты, полученные с помощью ^{13}C -ЯМР спектроскопии, выявили лишь небольшие различия в молекулярном составе гуминовых кислот по географическому градиенту исследуемых участков. Это может быть связано с однородным составом растительности и схожими климатическими условиями. В некоторых предыдущих исследованиях было показано, что арктические почвы могут содержать более стабильные ароматические компоненты по сравнению с алифатическими, но мы не обнаружили такой особенности в изученных почвах. Таким образом, можно подчеркнуть необходимость проведения дополнительных исследований в различных секторах Арктики для сбора дополнительных данных о молекулярном составе органического вещества почвы и его изменчивости в зависимости от биогеоклиматогенных градиентов. Преобладание алифатических форм углерода в изученных нами гуминовых кислотах также свидетельствует о ранних стадиях процесса гумификации в изученных почвах. Это согласуется с результатами предыдущих исследований (хотя и эпизодических) в различных секторах Сибири.

Благодарности: Авторы выражают благодарность Научному центру изучения Арктики (г. Салехард, г. Надым) за логистическую поддержку экспедиционных работ.

ВЛИЯНИЕ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА СВОЙСТВА ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ ГРУБОГУМУСИРОВАННОГО ПОДБУРА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ

Ахметова Г.В.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, akhmetovagv@gmail.com

Мозаичность и мелкоконтурность почвенного покрова таежных лесов, неоднородность свойств почв во многом определяется неоднородностью растительного покрова, что наиболее чётко прослеживается в верхних горизонтах почв, особенно лесной подстилки. Подстилка, по сравнению с почвой, является более лабильным компонентом таёжных экосистем, варьирование её свойств на всех уровнях структурно-функциональной организации экосистемы чрезвычайно высока, это создает определенные сложности при проведении ее исследований. Изменения мощности, запасов и химического состава лесной подстилки являются наиболее заметными проявлениями биологического круговорота веществ в лесных сообществах. Выявление особенностей взаимосвязей в системе – «растение-лесная подстилка» в настоящее время также актуальны в связи с тенденциями в изменении климатических показателей и растительного покрова. Цель данной работы заключалась в выявлении закономерностей варьирования запасов и химического состава лесных подстилок и верхних минеральных горизонтов почв в зависимости от характера напочвенного покрова. Объектами исследования послужили почвы сосняка черничного с высоким участием неморальных видов древесных пород (Ботанический сад ПетрГУ). Почвенный покров представлен подбуром грубогумусированным, сформированным на супесчаной сильнокаменистой морене, строение почвенного профиля следующее: O-a₀-BFH-BC-C. В зависимости от характера напочвенной растительности выделено три растительные микрогруппировки (РМГ): чернично-зеленомошная, чернично-разнотравно-зеленомошная и разнотравная.

Известно, что основные морфологические характеристики лесных подстилок – строение, мощность и запасы значительно изменяются в зависимости от характера напочвенного покрова даже в пределах одного типа леса. Под чернично-зеленомошными и чернично-разнотравно-зеленомошными РМГ формируется довольно мощная лесная подстилка до 8–10 см, которая легко разделяется на слои L, F и H. Запасы лесной подстилки данных РМГ довольно высокие – достигают 90 т/га и более. Под разнотравными РМГ в связи с более быстрой минерализацией опада живого напочвенного покрова лесная подстилка менее состоит только из опадочного слоя L, имеет небольшую мощность – 0,5–1,5 см, что дает запасы менее 20 т/га.

Анализ физико-химических показателей показал, что значения рН верхних горизонтов почв, включая подстилку, достоверно изменяются в сторону меньшей кислотности при увеличении доли участия разнотравья и снижения участия кустарничков и зеленых мхов. В чернично-зеленомошной и чернично-разнотравно-зеленомошной РМГ наблюдается характерная для таежных почв дифференциация почвенного профиля по показателям кислотности – самое низкое значение pH_{H_2O} (3,4–3,5) выявлено в ферментативных и гумусовых горизонтах подстилки, в минеральных горизонтах увеличивается до 4,3. В разнотравных РМГ изменение рН по горизонтам изменяется слабо и составляет 4,7–4,8 (pH_{H_2O}).

Наблюдается меньшее содержание углерода в подстилке с большей долей злаковой и разнотравной растительностью. В минеральных горизонтах эта разница уже не наблюдается в связи со значительным варьированием данного показателя. В содержании азота, подвижного фосфора и калия также наблюдается тенденция к уменьшению значений в почвах под разнотравными РМГ, особенно это характерно для подстилки, в меньшей мере для минеральных горизонтов.

Анализ информации о содержании доступных форм макро- и микроэлементов (вытяжка ААБ рН 4,8) показал значительную неоднородность даже внутри выделенных РМГ. Выявлены некоторые закономерности влияния особенностей растительности на химический состав верхних горизонтов изучаемых почв. В лесной подстилке, варьирование значений большинства изучаемых элементов довольно значительное, однако, обнаружено что наиболее стабильным элементом является кальций, его содержание в подвижной форме составляет около 3000 мг/кг, при этом не наблюдается изменение его количества в зависимости от слоя подстилки как это характерно для калия и марганца. Наиболее резко реагирует на изменение напочвенной растительности марганец, его максимальное содержание (до 200 мг/кг) выявлено в опадочном слое подстилки чернично-зеленомошной РМГ, а минимальные в разнотравных (50 мг/кг).

В грубогумусированной прослойке, которая формируется под подстилкой наблюдается тенденция к максимальному содержанию магния (80 мг/кг) и кальция (900 мг/кг) под разнотравными РМГ, данные в 2,5 раз превышают таковые в черничной (30 мг/кг и 300 мг/кг соответственно) и чернично-разнотравной РМГ (32 мг/кг и 350 мг/кг соответственно). Данная тенденция сохраняется и для альфегумусового горизонта.

Таким образом, проведенные исследования показали высокую изменчивость морфологических и физико-химических свойств верхних горизонтов почв, включая лесную подстилку в связи с влиянием напочвенного растительного покрова.

Исследование проведено за счет средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ПИРОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА УГЛЕРОДНЫЕ ПУЛЫ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Бряннин С.В., Иванов А.В., Масютина Ю.А.

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск,
bruanin@gmail.com*

Леса России представляют собой самый значительный пул углерода (С) среди экосистем суши, значительная часть этого пула находится в лиственных экосистемах в Сибири и Дальнего Востока, которые подвержены периодическим пожарам [1]. Лесные пожары в бореальных лесах исторически являлись драйверами их развития, а обновление древостоя в лиственных лесах и вовсе невозможен без пожаров [3]. Однако за последние два столетия пожары из фактора динамики превратились в фактор деградации этих лесов [5]. Очевидно, что в результате увеличения пирогенной нагрузки сильно нарушен надземный пул углерода. При этом большая часть углерода в этих экосистемах сосредоточена в почвах [2] и о его динамике сведения весьма ограничены. Целью данной работы было оценить влияние пирогегаза на запасы углерода в основных надземных пулах и почвах лиственничников Дальнего Востока.

Исследования проведены на территории Амурской области, респ. Якутия, Забайкальском крае в пределах N 53°–62° и E 119°–129°. Пулы углерода оценивали на временных пробных площадях (ВПП) размером 50*50 м. Всего заложено 43 ВПП, на каждой из которых изучали следующие пулы: живой древостой, сухостой, валёж, лесная подстилка, почва по слоям до 30 см. Живой древостой учитывали сплошным перечётом, учитывали породный состав. Валёж оценивали на трансекте 200 м по периметру ВПП. Лесную подстилку отбирали рамкой 20*20 см на всю глубину без разделения на под горизонты. Почву отбирали пробоотборником (цилиндром, d 5 см) без нарушения плотности на всю глубину, далее делили по слоям 0–10, 10–20, 20–30 см. Почву и подстилку отбирали в 5-кратной повторности на каждой ВПП. Анализ содержания органического С проводили в центре коллективного пользования «Амурский центр минералого-геохимических исследований». Анализ данных проводили в статистической среде R [5].

Пирогенную нагрузку оценивали по нескольким параметрам: количество пожаров, возраст последнего пожара и, MBS – интегральный показатель степени пирогенных повреждений ВПП. Для этого была сформирована коллекция из 690 снимков Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI, охватывающих временной период с 1986 по 2019 гг. Затем проводился визуальный анализ композитных изображений в синтезе каналов SWIR2-NIR-Green (7-4-2 для Landsat 5, 7 и 7-5-3 для Landsat 8), который является наиболее информативным для идентификации пожаров и гарей. В результате анализа на территории 42 ВПП за изучаемый период в совокупности зафиксировано 62 пожара, при этом число пожаров, на одной ВПП, варьировало от 0 до 7. Для оценки MBS проводился анализ восстановительной динамики нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI ($NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$), который часто используется для отслеживания постпирогенной динамики ландшафтов [6]. В результате исследования послепожарной динамики NDVI на нарушенных ВПП была представлена классификация, являющаяся качественной оценкой степени тяжести после пожарных последствий для лесных территорий. Так было выделено 6 групп: 0 – ненарушенная огнём; 1 – очень низкая степень повреждений (восстановление значений NDVI к средним (или несколько превышающим средние) в том же или следующем вегетационном сезоне); 2 – низкая степень повреждения (восстановление NDVI в течение 2–5 лет); 3 – средняя (восстановление индекса за 5–10 лет); 4 – высокая (более 10 лет для восстановления значений индекса); и 5 – очень высокая тяжесть последствий (более 10–20 лет, стабилизация значений NDVI на значительно более низком уровне).

Общие запасы углерода во всех пулах изученных экосистем варьировали в широких пределах от 37 до 193 т/га (табл.). Глубина исследуемого слоя была ограничена 30 см, что в почвах горных областей часто являлось границей почвенного профиля. Несмотря на это, органическое вещество почв составляло от 60 до 90 % суммарных запасов С в экосистеме. На живой древесной, сухой и валеж приходилось от 25 до 50 % запасов С, а подстилка не превышала 10 %.

Описательная статистика по структуре запасов углерода в основных пулах на 42 ВПП в лиственничниках Дальнего Востока

	Значение запасов углерода т/га			
	Среднее	Медиана	Минимальное	Максимальное
Общий	114	116	37	193
Почва	76	72	23	147
Лес	31	31	6	68
Подстилка	7	7	1	17

Анализ главных компонент установил, что при движении на юг возрастает число пожаров за 40 лет, вместе с ним увеличивается плотность почвы и количество березы в древостое. Пул углерода валежа и сухой древесной древесины возрастает с востока на запад и находится в обратной зависимости от даты последнего пожара. Пул углерода в почвах сильно и положительно связан со мощностью подстилок и величиной углеродного пула подстилки, запасы С в почвах возрастают с высотой над уровнем моря и находятся в обратной зависимости от количества пожаров за прошедшие 40 лет. Запас С в древостое лиственницы уменьшается с возрастанием силы пожарного воздействия (MBS) и меньше зависит от частоты и возраста последнего пожара.

Таким образом современный пирогенез (40 лет), оказывает наибольшее влияние на лесную подстилку, а через нее на пул С почвы. Вероятно, современные пожары не обладают такой силой чтобы минерализовать почвенные горизонты, однако из-за высокой периодичности регулярно уничтожают подстилки, что препятствует накоплению С в почвах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00346.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В. Органический углерод лиственничных лесов России // Хвойные бореальной зоны. 2003. Т. 21, № 1. С. 66–76.
2. Уткин, А. И., Замолодчиков, Д. Г., Честных, О. В. Пулы и потоки углерода лесов Дальневосточного федерального округа // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23, № 3. С. 21–30.
3. Цветков П.А. Пиропитность лиственницы Гмелина с позиций жизненных стратегий // Экология. 2004. № 4.
4. Barrett K., Kasischke E., McGuire A., Turetsky M., Kane E. Modeling fire severity in black spruce stands in the Alaskan boreal forest using spectral and non-spectral geospatial data // Remote Sens. Environ. 2010. V. 114. P. 1494–1503.
5. R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2020. <https://www.R-project.org/>.
6. Sato H., Kobayashi H., Iwahana G., Ohta T. Endurance of larch forest ecosystems in eastern Siberia under warming trends // Ecology and Evolution. 2016. V. 6, № 16. P. 5690–5704.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ОСТАТОЧНО-КАРБОНАТНЫХ ПОЧВАХ ЗАБРОШЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Гичан Д.В., Тебенькова Д.Н.

ЦЭПЛ РАН, Москва, Cotdm1t@yandex.ru

В настоящее время во всем мире наблюдается увеличение площадей земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота и зарастающих древесно-кустарниковой растительностью. В России площади таких территорий по разным оценкам составляют от 40 до 100 тыс. га, при этом их использование для лесоразведения законодательно ограничено [7]. Вовлечение таких территорий в лесоклиматическую деятельность является одним из наиболее перспективных направлений использования заброшенных сельскохозяйственных земель [4].

Формирование лесной растительности на бывших сельскохозяйственных землях является драйвером изменения запасов углерода и азота в постагрогенных экосистемах. С одной стороны, ожидается, что в процессе сукцессии постагрогенных сообществ будет увеличиваться запас углерода почв за счет увеличения поступления элемента с опадом, в том числе с труднорастворимым, пронизывания корнями более глубоких горизонтов почв, изменения водного, температурного и воздушного режимов [3]. С другой стороны, из-за прекращения внесения органических удобрений, запасы углерода почв могут уменьшаться. Общей закономерностью является изменение запасов углерода к среднему уровню углерода зонального типа почв [1].

Цель исследования – оценить запасы углерода и азота заброшенных сельскохозяйственных земель на примере остаточных-карбонатных почв Вологодской области.

В качестве объектов исследования выбраны лесные сообщества ранней стадии постагрогенной сукцессии, сформированные на территории бывшего сенокоса в Череповецком районе Вологодской области. Объект исследования относится к зоне южной тайги. Тип почв объекта – агродерново-подзолистые реградированные остаточные-карбонатные по классификации [2]. Для проведения исследования было заложено 10 пробных площадей в березняке злаковом (Б. зл.) возрастом 10–15 лет и 5 пробных площадей в березняке - ольшайниковом с ивой высокотравном (Б.-Ол. выс.) возрастом 20–25 лет. На каждой пробной площади закладывался опорный почвенный разрез, а также пять отборов подстилки и минеральных горизонтов почвы для учета пространственной вариабельности. Отбор образцов почвы проводится по слоям 0–5, 5–15, 15–30, 30–50, 50–100 см. Массовую долю углерода и азота определяли с помощью метода газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O). Статистическую обработку данных проводили в пакете STATISTICA.

Общие запасы углерода для метрового профиля почв для Б. зл. и Б.-Ол. выс. достоверно не различались и составили $90,9 \text{ т. га}^{-1}$ и $100,1 \text{ т. га}^{-1}$, запасы азота – $8,32 \text{ т. га}^{-1}$ и $8,55$ соответственно. Оценки запасов углерода несколько превышают оценки в аналогичных исследованиях на территории южной тайги [5, 6], что объясняется в нашем случае оценками на глубину до 100 см и наличием карбонатов в нижних горизонтах почвы.

По мере развития лесных сообществ происходят изменения в поступлении опада и, как следствие, изменения в запасах углерода и азота, а также миграция элементов по профилю почв. Были обнаружены статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) в запасах горизонта подстилки: в Б. зл. запасы углерода на 36 % больше чем в Б.-Ол. выс. Это объясняется, во-первых, большим поступлением опада в молодых сообществах, чем в средневозрастных за счет больших объемов зеленой фитомассы. Известно, что с увеличением возраста уменьшается объем зеленых частей растений, в пользу проводящих тканей [8]. Во-вторых, Б. зл. отличаются от Б.-Ол. выс. густотой травяного яруса, поэтому в опаде первого сообщества отмечается большая доля трав, что обуславливает более узкий C/N, 29 и 39 соответственно.

Запасы углерода и азота в слоях до 50 см, оказались больше в Б.-Ол. выс., чем с Б. зл., что объясняется различиями в возрасте насаждений. Процесс аккумуляции в первом случае проходил дольше, чем во втором, поэтому в нижних слоях за счет вымывания углерода из подстилки, коревого опада и др. процессов накопилось больше углерода. Так как разница в возрасте насаждений составляет в среднем 10 лет, наиболее значимые различия по запасу углерода и азота наблюдаются в слое 0–5 см. В Б.-Ол. выс. запасы углерода на 21 % больше чем в Б. зл., запасы азота на 20 % соответственно ($p \leq 0,05$).

В слое 50–100 см наоборот наблюдаются большие запасы углерода Б. зл., чем в Б.-Ол. выс. Различия составили 9 % ($p \leq 0,05$). Мы связываем различия с различной глубиной залегания карбонатного слоя.

Таким образом, различия в запасах углерода верхних слоев почв объясняются влиянием растительности, прежде всего количеством опада, в том числе травянистого; в нижних слоях почв – глубиной залегания почвообразующей породы.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории ЦЭПЛ РАН «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (регистрационный номер 122111500023-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровина И.А., Мошкина Е.В., Сидорова В.А., Туонен А.В., Карпечко А.Ю., Геникова Н.В., Медведева М.В., Мамай А.В., Толстогузов О.В., Кулакова Л.М. Влияние типа землепользования на свойства почв и структуру экосистемных запасов углерода в среднетаежной подзоне Карелии // Почвоведение. 2021. № 11. С. 1392–1406.
2. Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Рипол Классик, 1977.
3. Кузнецова А.И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, № 4. С. 41–95.
4. Резолюция по итогам научных дебатов «ЛЕСНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ В РОССИИ» г. Москва 19 октября 2021 г. [Электронный ресурс] URL: <http://rbf-ras.ru/academic-dispute/2021-10-19/> (дата обращения: 15.06.2023).
5. Рыжова И.М., Телеснина В.М., Ситникова А.А. Динамика и структура запасов углерода в постагрогенных экосистемах южной тайги // Почвоведение. 2014. № 12. С. 1426–1426.
6. Чалая Т.А. Запасы углерода в почвах и растительности постагрогенных ландшафтов южной тайги: автореф. дис. к.б.н.: 03.02.13 / Чалая Татьяна Анатольевна. М., 2012. 26 с.
7. Greenpeace и WWF призывают придать лесам на заброшенных сельхозземлях ясный правовой статус, 2018 [Электронный ресурс] URL: <https://greenpeace.ru/news/2018/12/10/greenpeace-i-wwf-prizyvajut-privdat-lesam-na-zabroshennyh-selhozzemljah-jasnyj-pravovoj-status/> (дата обращения 15.06.2023).
8. Lapenis A., Shvidenko A., Shepaschenko D., Nilsson S., Aiyyer A. Acclimation of Russian forest to recent changes in climate // Global Change Biology. 2005. Vol. 11, N 12. P. 2090–2102.

ДЫХАНИЕ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Иванов А.В.

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск,
aleksandr86@mail.ru*

Всестороннее изучение процессов эмиссии CO₂ с поверхности почв, расширение баз данных по почвенному дыханию (здесь и далее термины «эмиссия», «дыхание почвы» и обозначение SR используются как синонимы), организация сети мониторинга элементов углеродного цикла в России и других странах мира иллюстрируют необходимость понимания и корректного расчета углеродного баланса на разных территориальных уровнях. Дыхание почв – важная функциональная характеристика экосистем, определяющая величину баланса

углерода в конкретных условиях. В настоящее время глобальный поток углерода из почв оценивается в 91 Гт С/год, а антропогенные эмиссии составляют 11.2 % этой величины [7]. Для России аналогичные величины составляют 4.3 Гт С/год и 13.9 % [2, 9]. Рост температуры воздуха ускоряет процессы минерализации почвенного органического вещества, поэтому наблюдается достоверный тренд увеличения дыхания почв в мире со скоростью 0.09 Гт С/год [7]. В этих изменениях значима роль бореальных лесов, которые обеспечивают 15 % всей почвенной эмиссии и 23 % ее ежегодного увеличения [4]. Усиление эмиссий в бореальном биоме на 45 % вызвано климатическими причинами и на 55 % – изменениями в землепользовании [4].

Леса Дальнего Востока подвергаются интенсивным нарушениям, что приводит к усилению эмиссий и снижению стоков углерода. Согласно «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г.», Дальневосточный федеральный округ (ДФО) имеет наибольший показатель по площади лесов, переданных в пользование, – 100 млн га [4]. Это, прежде всего, площадь лесов, арендованных в целях заготовки древесины. Одновременно ДФО отличается наибольшей долей площадей, затронутых лесными пожарами. В 2019 г. здесь зафиксировано 3.9 млн га гарей, что составляет 67 % всех лесных гарей страны [1]. Дополнительным эмиттером углерода является протаивающая многолетняя мерзлота, распространенная почти на всей площади ДФО.

Анализ литературных источников и обработка собственных данных позволили получить информацию о дыхании почв лесных экосистем для 26 участков, расположенных в четырех субъектах России: Бурятия, Амурская область, Хабаровский край, Приморский край.

Территорией, близкой к южным районам российского Дальнего Востока по климатическим и почвенно-растительным условиям, является северо-восточная часть Китая, где активно ведутся измерения потоков углерода из почв лесных экосистем. Измерения в лиственнично-березовых лесах провинции Хэйлунцзян показывают средние значения эмиссионных потоков за летний период на уровне 2.4–3.3 г С/(м² сут) [5]. В лиственничниках Большого Хингана был поставлен эксперимент по оценке влияния пожара на почвенное дыхание. Средние значения за летний период составили в этом исследовании 2.9–6.1 г С/(м² сут), а большие показатели эмиссии зафиксированы в послепожарных лесах [6]. Эти значения очень близки к данным, полученным в Бурятии на участках 1 и 2. При этом в исследованиях в Китае средние летние потоки оказались в 2 раза ниже, чем в исследованиях в лесах той же формации в Зейском заповеднике [3]. Причины расхождений могут заключаться как в методических подходах, так и в локальных различиях климата и пожарных нарушений.

В лесах Большого Хингана, произрастающих на многолетней мерзлоте, определены годовые потоки углерода, которые составили для сосняка 6.97, лиственничника 6.52, березняка 5.81 т С/га [6], что близко к значениям, полученным в северном Приморье. Климат северо-восточного Китая более теплый и сухой по сравнению с южной частью российского Дальнего Востока. По-видимому, сходные значения общей годичной эмиссии связаны как с уменьшением среднесуточных значений, так и с увеличением безморозного периода в Китае по сравнению с Россией.

Согласно опубликованному обзору исследований дыхания почв в лесах Китая [11], включающему 139 оценок годичного потока СО₂, 33 выполнены в хвойно-широколиственных лесах – формации, наиболее близкой к лесам Приморья и Хабаровского края. Среднее значение показателей эмиссии для этой группы лесов в Китае составило 7.9 т С/(га год). Среднее значение для рассмотренных в данной работе участков Приморского края – 7.1 т С/(га год). Несмотря на более аридный климат, в расположенном южнее Китае повышение температуры приводит к увеличению общего эмиссионного потока углерода с поверхности почв хвойно-широколиственных лесов. Вместе с этим в провинции Хэйлунцзян влажность почв становится существенным лимитирующим фактором почвенного дыхания [6, 11].

Проблемой оценки и сравнительного анализа дыхания почв в ареале распространения лиственницы является крайне высокое разнообразие вариантов стадий послепожарного восстановления древостоев этой обширной лесной формации [26], которые характеризуются сильно различающимися величинами дыхания почв.

Оценки вклада разных сезонов года в общее дыхание почвы продолжают оставаться многочисленными. В результате многолетних измерений дыхания лесной дерново-подзолистой почвы в Московской области вклад зимнего и летнего периодов установлен на уровне 12 и 43 % соответственно, что может объясняться более мягким климатом по сравнению с Дальним Востоком [8]. Доля холодного периода (ноябрь–апрель) в общем дыхании почвы 60- и 120-летних залежей в более южной Орловской области составила 9.6 и 9.8 %, что близко к результатам, полученным в Приморье. Исследования, выполненные в окрестностях оз. Эбинур в аридном регионе Северного Китая, установили вклад зимнего дыхания в диапазоне 4–31 % для разных экосистем [10], что в среднем выше, чем в Приморском крае.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2012. Т. 9, № 2. С. 9–26.
2. Ваганов Е.А., Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю., Пыжжев А.И. Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений // Экономика региона. 2021. Т. 17. Вып. 4. С. 1096–1109.
3. Пилецкая О.А. Эмиссия углекислого газа в нарушенных бореальных лесах // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие». Мат. науч. конф. СПб., 2019. С. 82–84.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации» до 2030 года от 20.09.2018 № 1989-р. <https://inlnk.ru/9PP7Ra> (дата обращения 01.03.2023).
5. Duan B., Xiao R., Cai T., Man X., Ge Z. et al. Strong responses of soil greenhouse gas fluxes to litter manipulation in a boreal larch forest, Northeastern China // Forests. 2022. V. 13. P. 1–16.
6. Duan B., Cai T., Man X., Xiao R., Gao M. et al. Different variations in soil CO₂, CH₄, and N₂O fluxes and their responses to edaphic factors along a boreal secondary forest successional trajectory // Sci. Total Environ. 2022. V. 838. P. 155983.
7. Hashimoto S., Carvalhais N., Ito A., Migliavacca M., Nishina K., Reichstein M. Global spatiotemporal distribution of soil respiration modeled using a global database // Biogeosciences. 2015. V. 12. P. 4121–4132.
8. Huang N., Wang L., Song X.-P., Black T.A., Jassal R.S., Myneni R.B. et al. Spatial and temporal variations in global soil respiration and their relationships with climate and land cover // Sci. Adv. 2020. V. 6. P. 8508.
9. Kudeyarov V.N. Soil Respiration and Biogenic Carbon Dioxide Sink in the Territory of Russia: An Analytical Review // Eurasian Soil Science. 2018 V. 5. P. 599–612.
10. Qin L., Lv G.H., He X. M. et al. Winter soil CO₂ efflux and its contribution to annual soil respiration in different ecosystems of Ebinur Lake Area // Eurasian Soil Science. 2015. V. 48. P. 871–880.
11. Song X., Wang G., Ran F., Chang R. et al. Effects of topography and fire on soil CO₂ and CH₄ flux in boreal forest underlain by permafrost in northeast China // Ecological Engineering. 2017. V. 106. P. 35–43.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКИХ КОРНЕЙ *PINUS SYLVESTRIS* L. В СРЕДНЕТАЕЖНОМ СОСНЯКЕ БРУСНИЧНОМ

Карпечко А.Ю., Мошкина Е.В., Медведева М.В., Туюнён А.В.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, anna.karpechko@gmail.com

Тонкие корни обеспечивают дерево элементами минерального питания, участвуют в синтезе органического вещества, а также являются важным компонентом цикла углерода [5]. Считается, что масса тонких корней и их пространственное распределение в почве обусловлены характеристиками лесных фитоценозов и почвенными показателями. Известно, что последние могут меняться даже на расстоянии нескольких метров [3, 6]. Деревья, в свою очередь, оказывают влияние на свойства почвы: кроны перераспределяют осадки с растворенными в них элементами минерального питания; разложение растительного опада может изменять кислотность почв, толщину гумусового слоя [3, 4]. Напочвенная растительность влияет на вариабельность мощности, запасов подстилки, а также содержание углерода [2].

Целью работы было изучить пространственную неоднородность корненасыщенности почв «внутри» лесного фитоценоза. Работа проводилась в чистом по составу сосняке брусничном средним возрастом 200 лет. Почва исследуемого участка – подзол иллювиально-железистый песчаный, сформировавшийся на флювиогляциальных песчаных отложениях (Podzols).

Для определения массы корней отбирали почвенные монолиты размером 10 × 10 × 20 см. Тонкие корни (диаметром до 3 мм) извлекали отдельно из подстилки и нижележащего минерального слоя почвы, высушивали до абсолютно сухого состояния и взвешивали. Измерение температуры почвы на глубине 2, 5, 10 см производили термометром с мая по октябрь. Отбор образцов почв для химического анализа производили отдельно из каждого генетического горизонта (O, E, BH) на глубину 25 см. Определение содержания C, N, P, K в почве проводили по общепринятым методикам [1], затем эти показатели пересчитывались на запасы.

Результаты исследования показали, что тонкие корни «внутри» лесного фитоценоза распределяются неравномерно. Их размещение зависит, в основном, от варьирования содержания питательных элементов и температурного режима почвы. Как правило, масса тонких корней выше на участках с наибольшим содержанием элементов минерального питания и органического вещества почвы (НРКС). Благодаря перераспределению кронами светового потока, для участков почв, располагающихся в проекциях межкрупных пространств, характерен более благоприятный температурный режим, что оказывает влияние на распределение корней.

Работа выполнена из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИЛ КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
2. Подвезенная М.А., Рыжова И.М. Зависимость вариабельности запасов углерода в почве от пространственной структуры растительного покрова лесных биогеоценозов // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2010. № 4. С. 3–9.
3. Hokkanen T.J., Järvinen E., Kuuluvainen T. Properties of top soil and the relationship between soil and trees in a boreal Scots pine stands // Silva Fenn. 1995. Vol. 29, N 3. P. 189–203.
4. Lawrence D.J., Luckai N., Meyer W.L., Shahi C., Fazekas A.J., Kesanakurti P., Newmaster S. Distribution of white spruce lateral fine roots as affected by the presence of trembling aspen: root mapping using simple sequence repeat DNA profiling // Can. J. For. Res. 2012. Vol. 42. P. 1566–1576.
5. Sun T., Dong L.L., Mao Z.J., Li Y.Y. Fine root dynamics of trees and understory vegetation in a chronosequence of *Betula platyphylla* stands // Forest Ecol. Manag. 2015. Vol. 346. P. 1–9.
6. Zhang Z., Hu B., Hu G. Spatial Heterogeneity of Soil Chemical Properties in a Subtropical Karst Forest, Southwest China // The Scientific World Journal. 2014; 2014:473651.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ПИТАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ

Кашулина Г.М., Литвинова Т.И., Коробейникова Н.М.

Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, Анапты, galina.kashulina@gmail.com

Как и все живые организмы, растения в процессе жизнедеятельности активно регулируют свой химический состав. Содержание химических элементов в растениях во многом определяется их генетическими особенностями, опробуемой частью (орган, ткань) и фазой развития. Условия произрастания – плодородие почвы, увлажнение и климат местности также способны оказать влияние на химический состав растений, что обуславливает высокое варьирование содержания элементов в растениях одного вида. Длительное воздействие выбросов медно-никелевого комбината «Североникель» на Кольском полуострове значительно изменило условия произрастания растений в его ближайших окрестностях, обусловив экстремальное загрязнение тяжелыми металлами всех основных компонентов окружающей среды, обеднение питательными элементами и иссушение почв, а также ужесточение климата [1]. Особенности химического состава ассимилирующих органов 7 наиболее распространенных в северной тайге видов растений – черники (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), вороники (*Empetrum hermaphroditum*), березы (*Betula* sp.), ивы (*Salix* sp.), сосны (*Pinus sylvestris*) и ели (*Picea abies*) в условиях экстремального загрязнения изучали на 12 стационарных площадках мониторинга в локальной зоне воздействия выбросов комбината «Североникель». В качестве фоновых значений для зольных элементов использовались данные Р.М. Морозовой [2], Г.И. Ушаковой [3] и других исследователей. Фоновые значения по тяжелым металлам представляли данные исследований ненарушенных экосистем на северо-востоке Европы [4].

Несмотря на экстремальное загрязнение, все основные виды древесного и кустарничкового яруса северотаежных экосистем, хотя и в очень угнетенном состоянии, сохранили свое присутствие на площадках мониторинга и после 70-летнего воздействия выбросов комбината «Североникель». Направленность и степень изменения концентраций в ассимилирующих органах растений локальной зоны воздействия этого предприятия относительно фона зависели от элемента и вида растений. Как показали исследования, концентрация *Ca* в листьях березы, вороники, брусники и в хвое ели и сосны из локальной зоны были значимо (здесь и далее согласно *U*-критерия Манна-Уитни при $p \leq 0.01$) ниже по сравнению с ненарушенными экосистемами в регионе. При этом для всех видов растений, кроме вороники, от 6 (листья березы) до 40 % (хвоя ели) значений были ниже минимального фонового значения. Концентрации *Mg* была значимо ниже только для листьев березы и брусники. При этом его концентрации в листьях березы, брусники и черники, а также в хвое ели оставались в области естественного варьирования. И только единичные значения для сосны и вороники опускались ниже минимального фонового значения.

Концентрации *K* были значимо ниже фона только для березы: в 42 % образцов листьев которой из локальной зоны его концентрации опускались ниже минимального фонового значения. Для остальных видов растений концентрации *K* в листьях не выходили за пределы естественного варьирования. В тоже время концентрации *P* – другого важного питательного элемента во всех образцах и всех видов растений оставались в пределах естественного варьирования этого показателя, а различия по концентрации *P* между локальной зоной и фоновыми условиями для всех видов растений не были значимыми.

Сера является важным элементом питания для растений, концентрации соединений которой, как в атмосфере, так и в атмосферных осадках были значительно повышены в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» [1]. Однако растения слабо и неоднозначно реагировали на ее избыток в окружающей среде. Наиболее значительно (в 1.7 раза) концентрация *S*

возросла в хвое ели на площадке в 8 км от источника выбросов. Концентрации S в хвое сосны в большинстве образцов варьировала на уровне близком к фоновому с единичными высокими значениями на самых загрязненных площадках. В листьях березы только на площадке в 3 км от источника концентрация S превышала фоновую, наоборот, на удаленных площадках (в 11 и 17 км) с низким естественным плодородием почв для березы был отмечен небольшой дефицит серы. Небольшой дефицит S был также отмечен в листьях вороники на всех площадках мониторинга.

Марганец (Mn) и Zn – сопутствующие загрязнители [1] и важные микроэлементы. Несмотря на повышенные поступления с атмосферными осадками, их концентрации во всех видах растений была значимо ниже по сравнению с фоном. Наиболее значительный дефицит Mn в условиях локальной зоны испытывала береза (до 10 раз ниже фона) и вороника (до 6 раз ниже фона). Наиболее значительно концентрации Zn снизились также в листьях березы: от 10 раз на пл. в 3 км до 2.5 раз в 17 км. Меньший дефицит Zn был отмечен для кустарничков. В листьях вороники его концентрация снизилась только в 1.5–2 раза.

Никель (Ni) – основной загрязняющий металл. Уровень загрязнения растений локальной зоны никелем оказался значительно ниже по сравнению с атмосферными осадками и верхним горизонтом почв [1]. Самые высокие превышения над фоном концентрации Ni были свойственны хвое сосны: от 32 раз на площадке в 17 км от источника до 230 раз в 3 км. Для листьев березы превышения над фоном варьировали от 11 раз на площадке в 17 км до 60 раз на площадке в 3 км. *Медь* (Cu) – второй по уровню выбросов загрязняющий металл. Изменение концентраций Cu в листьях растений в локальной зоне по сравнению с фоном также, как и для Ni, было значительно ниже по сравнению с атмосферными осадками и верхним органометным горизонтом почв [1]. Самое высокое превышение концентрации Cu над фоном было свойственно хвое сосны (от 7 раз на площадке в 17 км от источника до 37 раз в 3 км), самое низкое – листьям березы (от 3 раз в 17 км, до 30 раз в 3 км).

Наиболее распространенные элементы земной коры – Si, Al, Fe потребляются растениями в небольших количествах. В локальной зоне воздействия выбросов комбината «Североникель» концентрации Si и Fe в ассимилирующих органах растений были повышены относительно фоновых условия, а Al, наоборот, значительно снижены. Снижение содержания Al и повышение содержания Si и Fe для всех обследованных видов растений в локальной зоне относительно фона были статистически значимым.

Таким образом, характер и степень изменения химического состава ассимилирующих органов растений в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» по сравнению с ненарушенными экосистемами в регионе зависят от вида растений и элемента. Видовые особенности реакции на экстремальные условия произрастания свидетельствуют о том, что растения в локальной зоне, несмотря на стресс, продолжают активно регулировать свой химический состав. Кроме того, в экстремальных условиях они сохраняют и наиболее значимые видовые особенности своего химического состава. Например, ель также характеризуется наиболее высоким содержанием Si, сосна – Al, брусника и черника – Mn.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кашулина Г.М.* Комплексный мониторинг окружающей среды около медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // Почвоведение, 2022. № 5. С. 556–570. DOI: 10.31857/S0032180X22050021.
2. *Морозова Р.М.* Минеральный состав растений лесов Карелии. Петрозаводск: Госкомиздат КАССР, 1991. 99 с.
3. *Ушакова Г.И.* Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1997. 150 с.
4. *Reimann C., Koller F., Frengstad B., Kashulina G., Niskavaara H. and Englmaier P.* Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1,500,000 km²-area in Northern Europe // The Science of the Total Environment, 2001. Vol. 278. P. 87–112.

ОЦЕНКА ДЫХАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ЗОНЕ УМЕРЕННО-КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ АНСАМБЛЯ T&P-МОДЕЛЕЙ

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

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пушкино, snk2105@gmail.com

Почвенное дыхание (SR) – это основной путь, по которому углерод покидает наземные экосистемы [1–3], изменяя запасы органического углерода (SOC) почвы и его распределение в почве [4]. Именно поэтому мониторинг SR должен проводиться для оценки способности экосистемы противостоять стрессам, вызванным неблагоприятными изменениями окружающей среды или изменением климата [2, 3], и для представления ежегодной инвентаризации парниковых газов ([5].

Ряд исследований, посвященных как измерениям SR, так и применению эмпирических моделей, подчеркивает зависимость SR от (i) температуры [6–10] и влажности (ii) [6, 11–14], от (iii) осадков [6, 15–20] и (iv) изменение уровня воды в почве [21–23], а также от (v) распределения надземной биомассы [24]. Некоторые исследований связывают изменения в SOC, хранящихся в почвах экосистем, с различиями в SR [1, 25–29].

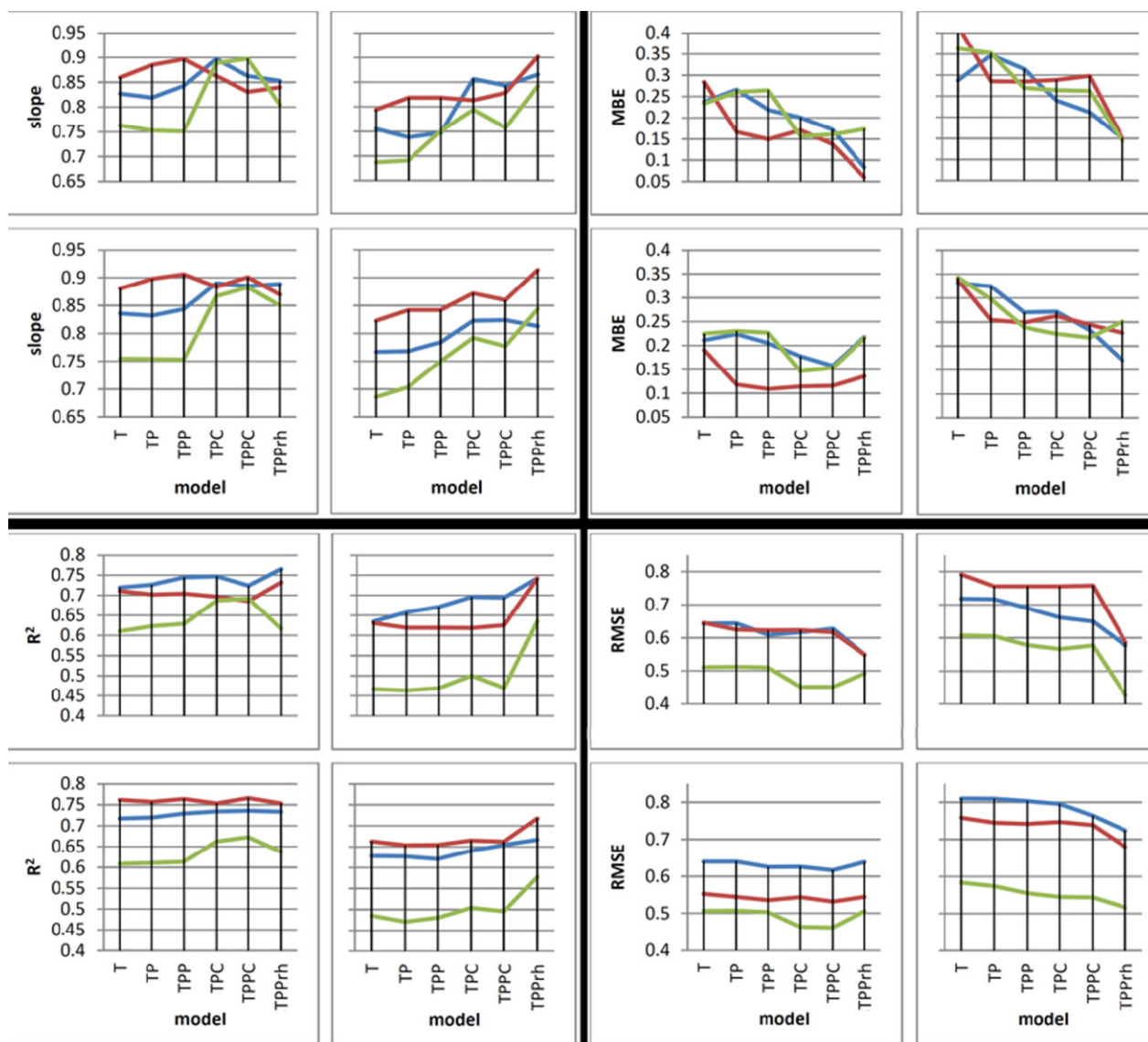
Следуя высокой изменчивости измерений в зимнее время, мы выдвигаем гипотезу о том, что использование температуры почвы в холодный период, как правило, не ограниченное доступностью воды, может значительно улучшить результаты моделирования SR по сравнению с использованием температур воздуха. С другой стороны, вслед за Maier et al. (2010) мы выдвигаем гипотезу о том, что в засушливый теплый период структура и пористость почвы может влиять на доступность атмосферного кислорода в почве, что вместе с различным количеством SOC может влиять на величину SR для разных почв.

Настоящее исследование направлено на рассмотрение этих гипотез путем выявления лучших версий эмпирических моделей, параметризованных среднемесячными значениями (i) температуры почвы или воздуха (T), (ii) количества осадков (P) и (iii) количества SOC (C) в применении к песчаному Entic Podzol и суглинистому Haplic Luvisol.

Первый участок с Entic Podzol [30] расположен в зоне хвойно-широколиственных лесов в Приокско-Тerrasном природном биосферном заповеднике на левом (северном) берегу р. Оки. Ландшафт представляет собой песчаные террасы, образовавшиеся в результате современных и древних эрозионных процессов, расположенные над поймой р. Оки – низменные равнины с пологими южными склонами к реке. Второй участок с Haplic Luvisol (Siltic) [30] расположен в зоне широколиственных лесов на правом (южном) берегу р. Оки. Ландшафт холмистый с высотой около 100–150 м над рекой. Река Ока служит границей между лесными зонами. Расстояние между участками составляет около 8,6 км в направлении север-юг.

Site description and soil properties of the forest ecosystems; ¹⁾[18]; ²⁾[17]; ³⁾[31]; ⁴⁾[32]

		Entic Podzol	Haplic Luvisol
Forest	Forest zone	coniferous-deciduous	deciduous
	Forest type	mature mixed with pine, linden, aspen, birch, and oak, the age of which reaches 90–120 years ²⁾	secondary deciduous with aspen, linden, and maple of an average tree age of 50–70 year ²⁾
Soil (0–10 cm)	Texture	sandy-loamy ²⁾	loamy ²⁾
	granulometry (sand:silt:clay)	11.6 : 1.0 : 1.3 ¹⁾	4 : 4 : 2 ³⁾
	pH _{KCl}	3.67 ¹⁾	5.56 ²⁾
	C/N	15.3 ¹⁾	12.8 ²⁾
	SOC storage [kg C/m ²]	0.90 (0–10 cm) ⁴⁾ 1.23 (0–20 cm) ⁴⁾	2.85 (0–10 cm) ⁴⁾ 5.02 (0–20 cm) ⁴⁾
Water-holding capacity [%]	40.5 ²⁾	57.5 ²⁾	



The comparison-statistics:

slope – the slope of the lm; R^2 – the determination coefficient of the lm; MBE – the mean-bias error; RMSE – the root-mean-square error between the modeled and measures soil-respiration values for the normal (blue), wet (red), and dry (green) environmental conditions; in each panel: top – T_{soil} (local), bottom – T_{air} (meteostation) used for parameterizations; in each panel: left – for Entic Podzol, right – for Haplic Luvisol.

Проведенное исследование демонстрирует важность учета SOC и водоудерживающей способности почв для выбора правильных моделей SR. Для песчаного Entic Podzol (табл.) с грубой структурой и хорошим дренажем лучше использовать модели, учитывающие SOC (TPC и TPPC, рис.), в то время как для суглинистого Haplic Luvisol (табл.), имеющего более тонкую структуру и хорошую водоудерживающую способность, лучше применять модели типа Райха-Хашимото (TPPrh, рис.) с квадратичной температурной зависимостью, которая может быть связана с присутствием воды в почве.

Сбор и подготовка данных были выполнены в рамках программы ВИПГЗ (регистрационный номер: 123030300031-6), дата анализ и моделирование были выполнены в рамках государственного задания No. 122111000095-8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ryan M., Law B. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry* 2005, 73, pp. 3–27.

2. *Le Quéré C., Moriarty R., Andrew R.M. et al.* Global carbon budget 2014, *Earth Syst. Sci. Data* 2015; Volume 7, pp. 47–85.
3. *Valentini R., Matteucci G., Dolman A.J. et al.* Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 2000; Volume 404, pp. 861–865.
4. *Peltoniemi M., Thürig E., Ogle S. et al.* Models in country scale carbon accounting of forest soils. *Silva Fennica* 2007, 41(3): 575–602.
5. UNFCCC 2006. National Inventory Submissions. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3734.php.
6. *Raich J.W., Potter C.S.* Global patterns of carbon dioxide emission from soils. *Global Biogeochem. Cycles* 1995; Volume 9 (1), pp. 23–36.
7. *Lopes De Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Rozanova L.N., Kudayarov V.N.* Effect of temperature and moisture on CO₂ evolution rate of cultivated Phaeozem: analyses of long-term field experiment, *Plant, soil and environment* 2005; Volume 51 (5), pp. 213–219.
8. *Juhász C., Huzsvai L., Kovács E., Kovács G., Tuba G., Sinka L., Zsembeli J.* Carbon Dioxide Efflux of Bare Soil as a Function of Soil Temperature and Moisture Content under Weather Conditions of Warm, Temperate, Dry Climate Zone. *Agronomy* 2022; Volume 12, pp. 30–50.
9. *Howard P. J. A., Howard D. M.* Respiration of decomposing litter in relation to temperature and moisture. *Oikos* 1979; Volume 33, pp. 457–465.
10. *O'Connell A.M.* MICROBIAL DECOMPOSITION (RESPIRATION) OF LITTER IN EUCALYPT FORESTS OF SOUTH-WESTERN AUSTRALIA: AN EMPIRICAL MODEL BASED ON LABORATORY INCUBATIONS. *Sod Ed. Emchcm.* 1990; Volume 22 (2), pp. 153–160.
11. *Orchard V. A., Cook F.J.* Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry* 1983; Volume 15 (4), pp. 447–453.
12. *Jarvis P., Rey A., Petsikos C., Valentini R. et al.* Drying and wetting of Mediterranean soils stimulates decomposition and carbon dioxide emission: The "Birch effect". *Tree Physiology* 2007; Volume 27(7), pp. 929–940.
13. *Maier M., Schack-Kirchner H., Hildebrand E.E., Holst J.* Pore-space CO₂ dynamics in a deep, well-aerated soil. *European Journal of Soil Science* 2010; Volume 61, pp. 877–887.
14. *Chamindu Deepagoda T.K.K., Elberling B.* Characterization of diffusivity-based oxygen transport in Arctic organic soil. *European Journal of Soil Science* 2015; Volume 66, pp. 983–991.
15. *Vygodskaya N.N., Varlagin A.V., Kurbatova Y.A., Ol'chev A.V., Panferov O.I., Tatarinov F.A., Shalukhina N.V.* Response of taiga ecosystems to extreme weather conditions and climate anomalies, *Doklady Biological Sciences* 2009; Volume 429 (6), pp. 571–574.
16. *Yuste J.C., Janssens I.A., Carrara A. et al.* Interactive effects of temperature and precipitation on soil respiration in a temperate maritime pine forest. *Tree Physiology* 2003; Volume 23, pp. 1263–1270.
17. *Kurganova I.N., Lopes De Gerenyu V.O., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Savin I.Y., Shorohova E.V.,* Carbon balance in forest ecosystems of southern part of Moscow region under a rising aridity of climate, *Contemporary problems of ecology* 2017; Volume 10 (7), pp. 748–760.
18. *Kurganova I.N., Lopes De Gerenyu V.O., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Romashin I.V., Zhmurin V.A., Kudayarov V.N.* Natural and Model Assessments of Respiration of Forest Sod-Podzolic Soil in the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve. *Lesovedenie* 2019; Volume 5, pp. 435–448 (Russian).
19. *Karelin D.V., Zamolodchikov D.G., Isaev A.S.* Unconsidered sporadic sources of carbon dioxide emission from soils in taiga forests, *Doklady Biological Sciences* 2017; Volume 475 (1), pp. 165–168.
20. *Sukhoveeva O.E., Karelin D.V.* Assessment of Soil Respiration with the Raich–Hashimoto Model: Parameterisation and Prediction. *Izvestia RAN. Seria Geograficheskaya* 2022; Volume 86 (4), pp. 519–527.
21. *Pavelka M., Darenova E., Dusek J.* Modeling of soil CO₂ efflux during water table fluctuation based on in situ measured data from a sedge-grass marsh. *Applied Ecology and Environmental Research* 2016; Volume 14 (3), pp. 423–437.
22. *Kayranli B., Scholz M., Mustafa A., Hedmark Å.* Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: a Critical Review. *Wetlands* 2010; Volume 30, pp. 111–124.
23. *Makhnykina A.V., Polosukhina D.A., Kolosov R.A., Prokushki A.S.* SEASONAL DYNAMICS OF CO₂ EMISSION FROM THE SURFACE OF THE RAISED BOG IN CENTRAL SIBERIA. *Geosphere Research* 2021; Volume 4, pp. 85–93 (Russian).

24. Reichstein M., et al. Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. *Global Biogeochem. Cycles* 2003; Volume 17 (4), pp. 1104.
25. Singh BK (Ed) *Soil carbon storage: modulators, mechanisms and modeling*. Academic Press 2018, London.
26. Del Grosso S., Parton W., Mosier A. et al. Modeling soil CO₂ emissions from ecosystems. *Biogeochemistry* 2005; Volume 73, pp. 71–91.
27. Lal R. Forest soils and carbon sequestration, *Forest Ecology and Management* 2005; Volume 220 (1–3), pp. 242–258.
28. Chen S., Huang Y., Zou J., Shen Q., Hu Z., Qin Y., Chen H., Pan G. Modeling interannual variability of global soil respiration from climate and soil properties, *Agricultural and Forest Meteorology* 2010; Volume 150, Issue 4, pp. 590–605.
29. Ilyasov D.V., Molchanov A.G., Glagolev M.V., Suvorov G.G., Sirin A.A. Modelling of carbon dioxide net ecosystem exchange of hayfield on drained peat soil: land use scenario analysis. *Computer Research and Modeling* 2020; Volume 12 (6), pp. 1427–1449 (Russian).
30. WRB 2014, 2015 <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/world-reference-base/en/>.
31. Brown R.B. "Soil Texture". *Agronomy Fact Sheet Series: Fact Sheet SL-29*. Cornell University 2007; Department of Crop and Soil Sciences.
32. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Myakshina T., Sapronov D., Zhmurin V. Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Two Temperate Forest Ecosystems: The Synthesis of a 24-Year Continuous Observation. *Forests* 2022; 13, 1374.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНОГО ПОЛОГА НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА

Киселева В.В., Карминов В.В.

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи Московской обл.,
vvkiseleva@bmstu.ru*

В круговороте углерода (С) почвы выполняют функции накопления и долгосрочной фиксации элемента. Общие запасы С в почве, включая подстилку, могут составлять от 30 % запасов углерода экосистемы в тропических лесах до 70 % в бореальных [3].

Точное измерение вклада всех компонентов лесной экосистемы в депонирование углерода – одна из исследовательских задач, поставленная при организации исследовательского полигона Мытищинского филиала МГТУ им. Баумана. Почвенные исследования имеют целью определение запаса С в почвах и оценку их пространственной неоднородности, выявление закономерностей для моделирования и прогнозирования динамики накопления С в экосистеме.

Исследовательский полигон расположен в Щелковском районе Московской области. Насаждение – лесные культуры сосны 65 лет, тип лесного биогеоценоза – сосняк с березой и елью разнотравно-кисличный. К настоящему времени почвенными исследованиями охвачено 3 из 10 секций полигона, общей площадью 2,8 га.

Методика почвенных исследований основывалась на рекомендациях МПР по определению поглощения парниковых газов [2], однако, вместо смешанных образцов анализировались индивидуальные образцы. Точки отбора располагались по регулярной сети, аналогичной применяемой в европейской сети мониторинга баланса углерода CarboEurope [4], размер ячейки сети был принят 33,3 × 33,3 м. Отбор образцов подстилки произведен в соответствии с рекомендациями МПР с площадок 50 × 50 см. Отбор образцов минеральных горизонтов

произведен в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Серия анализов выполнена в Экоаналитической лаборатории Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

Автоморфные почвы классифицированы как слабодерново-сильноподзолистые глееватые легкосуглинистые на покровных суглинках, подстилаемых моренными тяжелыми суглинками, часто опесчаненными. В замкнутом заболоченном понижении разрезом вскрыта мелкоторфянистая неглубокоподзолистая профильно оглеенная легкосуглинистая слабоскелетная почва на тяжелосуглинистой морене.

Профильное распределение содержания С представлено в таблице 1. Обращает на себя внимание присутствие С в иллювиальной части профиля. С учетом большого объемного веса иллювиальных горизонтов (1,58–1,89 г/см³), в слое 30–50 см сосредоточено в среднем 18 % от общего запаса С. Пренебрежение этим фактом может привести к занижению общих запасов С в почвах и даже ошибочным выводам о характере углеродного баланса.

Таблица 1. Профильное распределение содержания углерода в почвах полигона

Дерново-подз. глееватая	Горизонт	О	АУ	АЕL	ЕLg	BEЛg	BT	–	–
	С, %	39,48	4,91	2,31	0,45	0,23	0,24	–	–
Торфянисто-подз. глеевая	Горизонт	T1	T2	T3	AU	AEL	ELg	BEЛg	BTg
	С, %	47,37	47,3	44,77	35,13	7,9	0,66	0,28	0,2

Запасы С определены для подстилок и слоев минеральной почвы мощностью 0–10 и 0–50 см (таблица 2). В связи с неоднородностью строения почвенного профиля в состав слоя 0–50 см входят разные горизонты. Так, гор. АУ может отсутствовать или присутствовать фрагментарно, или верхняя граница гор. BT может располагаться ниже 50 см. С этим связан высокий разброс значений запасов углерода на сравнительно небольшой площади.

Запасы углерода в торфянисто-подзолистой глеевой почве составляют: в торфяном горизонте – 2,73 кг/м², в слое 0–10 см – 9,96 кг/м² и в слое 0–50 см – 13,06 кг/м².

Таблица 2. Запасы углерода в подстилке и слоях минеральной почвы дерново-подзолистой глееватой почвы, кг/м²

Слой	<i>M</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	σ	<i>V</i> , %
Подстилка	0,22	0,07	0,41	0,11	50,38
0–10 см	2,39	1,05	3,25	0,50	21,02
0–50 см	4,73	3,76	6,56	0,65	13,61

Примечание: *M* – среднее, *min* и *max* – минимальное и максимальное значение по 26 профилям, σ – стандартное отклонение, *V* – коэффициент вариации

Была сделана попытка выявить пространственные закономерности варьирования запасов С, связав их с иными свойствами почв и характеристиками фитоценоза. В качестве последних использовали сумму площадей сечений деревьев, расположенных в радиусе 10 м (2 диаметра кроны) от разреза, долю березы и ели в составе древостоя, надземную фитомассу напочвенного покрова. Ранее в исследованиях ЦЭПЛ РАН было показано, что на аккумуляцию углерода в лесных почвах влияют доля деревьев с хвойным опадом от общего запаса, возраст древостоя, проективное покрытие хвойного подроста, соотношение С/Н, видовая насыщенность напочвенного покрова; для подстилок хвойно-широколиственных лесов большое значение имеет биомасса червей [1].

Корреляционный анализ выявил слабую отрицательную взаимосвязь между запасами С в подстилке и фитомассой живого напочвенного покрова, соотношением С/Н и долей березы в составе древостоя, а также слабую положительную связь между запасом С в подстилке и суммой площадей сечений. Содержание углерода в минеральной толще 0–50 см показывает слабую положительную связь с С/Н в подстилке и фитомассой напочвенного покрова.

Множественный нелинейный регрессионный анализ в качестве наиболее значимых факторов, определяющих запас С в подстилке, выявил фитомассу напочвенного покрова, соотношение С/N и сумму площадей сечений, причем только первый показатель значим на уровне 0,05. Еще менее определенным оказалось влияние состава насаждения на запасы углерода в минеральной почве, где ведущими факторами являются фитомасса напочвенного покрова, доля березы в составе насаждения (со значимостью на уровне 0,15) и сумма площадей сечений.

Использованные показатели нельзя считать строго независимыми, они связаны между собой опосредованно – через кислотность почв, глубину проявления признаков оглеения, освещенность под пологом и др. Кроме того, влияние факторов на разных стадиях фиксации С в лесных почвах может быть разнонаправленным. Тем не менее, при оценке пространственной неоднородности возможно привязать участки с минимальными запасами С в подстилках к парцеллам с доминированием березы или окнам в пологе древостоя, а максимальные запасы подстилок – к редкопокровным микрогруппировкам напочвенного покрова. Сложный и опосредованный характер взаимосвязей в лесной экосистеме и высокая степень варьирования количественных показателей говорят о том, что при оценке динамики углеродного баланса возможен только вероятностный прогноз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / Под ред. Лукиной Н.В. М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2018. 232 с.
2. Распоряжение Минприроды России 30.06.2017 N 20-р «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (ред. от 20.01.2021) (электронный ресурс). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456079177> (дата обращения 25.05.23).
3. A large and persistent carbon sink in the world's forests. Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., Kurz W.A., Hayes D. // Science. 2011. Vol. 333, N 6045. P. 988–993.
4. How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? Schrumppf M., Schulze E.D., Kaiser K., Schumacher J. // Biogeosciences. 2011. N. 8. P. 1193–1212.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПОЧВАХ СВЕТЛОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

Краснощеков Ю.Н.

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Красноярск, kyp47@mail.ru*

Органо-аккумулятивные почвы в Северной Монголии образуют основной фон почвенного покрова в высотно-поясных комплексах (ВПК) подтаежных и подтаежно-лесостепных лиственничных и сосновых лесов в Орхоно-Селенгинском среднегорье, в Прихубсугулье, Северо-Восточном и Восточном Хангае, Хэнтэйском нагорье. Занимают они преимущественно средние и нижние части склонов северной румбов на контакте со степями в интервале высот 700–1800 м над ур. моря. В травяном покрове наибольшее ценотическое значение имеют лесные и лугово-лесные мезофиты. В нижней части этого пояса, в связи с сухостью климата и контактами лесов с зональными степями, в сложении подчиненных ярусов большое участие принимают степные и лесостепные травы [1]. Почвенный покров представлен различными вариантами серогумусовых и темногумусовых почв. Почвы формируются на различных по составу почвообразующих породах – остаточных и переотложенных корах выветривания как магматических, так и карбонатных пород.

Для *серогумусовых типичных почв* характерен аккумулятивный тип распределения микроэлементов в почвенном профиле. Пределы колебания их довольно широкие, т. е., почвам свойственна высокая пространственная неоднородность относительно концентрации в них микроэлементов. Наибольшим количеством микроэлементов отличаются органогенные и гумусово-аккумулятивные горизонты.

В органогенных горизонтах очень высокие коэффициенты вариации ($K_v \geq 40\%$) характерны Ва, V, В, Сг и Ni. В гумусово-аккумулятивных горизонтах АУ – Cu, Pb, Mn, Zr и Sr. В минеральном горизонте С – Ва, Сг и Ni.

Относительно почвообразующей породы, в органогенных горизонтах рассматриваемых почв резко возрастает концентрация элементов биофилов. Так, коэффициент радиальной дифференциации ($K_{р\delta}$) бора равен 24,93; марганца ($K_{р\delta} = 19,23$) и бария ($K_{р\delta} = 13,75$). Для Sr, Zn, Pb и Mo характерна относительно меньшая концентрация ($K_{р\delta} = 1,36-4,08$). Эти элементы являются постоянными компонентами в органическом веществе почв и участвуют в малом биологическом круговороте. Наиболее сильным рассеянием в этом горизонте отличаются Сг, Ni и V, несколько меньшим – Zr и Со. В горизонтах АУ и АУС выявлено преобладание аккумуляции большинства микроэлементов, однако в отличие от их накопления в гор. О этот процесс выражен здесь менее интенсивно. Наблюдаются слабый и средний вынос из гор. АУZn, V и Сг; из гор. АУС – Sr.

Коэффициенты концентрации (КК) свидетельствуют, что в органогенных горизонтах серогумусовых почв резко возрастает В (КК = 24,31), Mn (КК = 8,33) и Ва (КК = 5,64). Заметно концентрируется Zn (КК = 3,01), Sr (КК = 2,60) и Pb (КК = 2,39). В незначительном количестве накапливается Cu и Mo. Очень понижена концентрации Zr и Ni (КК = 0,37).

В серогумусовых горизонтах АУ концентрируется Mn (КК = 4,17) и Ва (КК = 2,15). В меньшем количестве – Zr, Со, Mo и В. Слабым накоплением отличаются Cu, Сг, Sr и Zn. Содержание остальных элементов невысокое. Относительные коэффициенты концентрации составляют от 0,66–0,96 для Ni, V и Pb, что свидетельствует о слабом и среднем рассеянии этих элементов.

В горизонтах АУС, по сравнению с поверхностными органогенными и гумусово-аккумулятивными, отмечено возрастание концентрации практически всех микроэлементов, за исключением Zr, Ва и Sr. Коэффициенты концентрации этих элементов относительно литосферных кларков ниже единицы. В почвообразующей породе слабым накоплением обладают Cr, Zn, Cu, Pb и V.

В отличие от типичных, в *серогумусовых глинисто-иллювирированных почвах* для большинства элементов отмечается как биогенная аккумуляция в поверхностных органогенных горизонтах, так и элювиально-иллювиальная их дифференциация в почвенном профиле. В поверхностном органогенном горизонте интенсивно аккумуляруются Mn ($K_{р\delta} = 33,34$), В ($K_{р\delta} = 13,33$) и Ва ($K_{р\delta} = 10,00$). Относительно меньше Zn ($K_{р\delta} = 3,75$), Sr ($K_{р\delta} = 3,33$) Pb ($K_{р\delta} = 2,67$) и Mo ($K_{р\delta} = 2,00$). Наблюдается обеднение микроэлементами элювирированного горизонта АУel, и относительное накопление их в нижнем минеральном горизонте Ст.

Для *темногумусовых почв* формирующихся в пределах подтаежного и подтаежно-лесостепного классов ВПК типов леса характерен наиболее выраженный аккумулятивный тип распределения микроэлементов в почвенном профиле.

Рассчитанные коэффициенты концентрации свидетельствуют, что в органогенных горизонтах *темногумусовых метаморфизованных почв* резко возрастает концентрация В (КК = 36,46), Mn (КК = 8,00) и Ва (КК = 6,53). Коэффициенты концентрации Zn, Sr, Pb, Cu и Mo изменяются от 1,36 до 2,86. В незначительном количестве накапливается V и Сг. Коэффициенты концентрации для Ni, Zr и Со изменяются от 0,45 до 0,62 и свидетельствуют о среднем рассеянии этих элементов.

В горизонтах Ст относительно высокими коэффициентами концентрации отличаются Cr (КК = 1,68), Zn (КК = 1,35), Ni (КК = 1,25) и В (КК = 1,14). Наблюдается незначительное накопление здесь Mo, Cu, Sr, Pb и слабое рассеяние Zr, Cr, V, Ва и Mn.

В органогенных горизонтах *темногумусовых остаточно-карбонатных почвах* наблюдается резкая аккумуляция элементов биофилов: В ($Kpд = 12,97$), Mn ($Kpд = 11,67$) и Ba ($Kpд = 7,81$). Для Sr и Mo характерна относительно меньшая концентрация ($Kpд = 2,27-3,43$). Еще меньшей аккумуляцией в этом горизонте обладают Pb ($Kpд = 1,58$), Co ($Kpд = 1,40$), Cu ($Kpд = 1,38$), Zr ($Kpд = 1,33$) и Zn ($Kpд = 1,22$). Наблюдается обеднение органогенных горизонтов V, Cr и Ni.

Коэффициенты концентрации свидетельствуют о значительном накоплении микроэлементов в органогенном и гумусово-аккумулятивном горизонтах рассматриваемых почв и незначительном выносе их из гор. АУС. В тоже время наблюдается заметное увеличение концентрации большинства элементов в карбонатном горизонте Сса. Геохимический карбонатный барьер в этих почвах выражен более интенсивно, чем в перегнойно-серогумусовых остаточно-карбонатных, формирующихся в условиях псевдотаежных листовенничных лесов Центрального Хангая [2].

Таким образом, приведенные материалы по микроэлементному составу органо-аккумулятивных почв подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных лесов Северной Монголии свидетельствуют о преимущественном биогенном накоплении их в поверхностных органогенных и гумусовых горизонтах и аккумулятивном перераспределении по почвенным профилям. Изученные почвы отличаются не только абсолютными значениями содержания микроэлементов, участвующих в биологическом круговороте, но также интенсивностью их вовлечения в биогенную миграцию. Повышенное содержание микроэлементов и слабый их вынос связаны, в первую очередь, с гидротермическими условиями – малым количеством осадков, непродолжительным (коротким) вегетационным периодом, невысокими температурами воздуха летом и низкими – зимой. Гидротермические условия способствуют большому накоплению подстилки под пологом леса и слабой ее минерализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коротков И.А.* Типы леса Монгольской Народной Республики // Леса МНР. М.: Наука, 1978. С. 47–121.
2. *Краснощечков Ю.Н.* Почвенный покров и почвы горных лесов Северной Монголии. Новосибирск: Наука. 2013. 196 с.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВЕСНОГО НАЗЕМНОГО ОПАДА НА ВЫРУБКЕ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА

Кузнецов М.А.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, kuznetsov_ma@ib.komisc.ru

Лесной опад играет важную роль в биологическом круговороте веществ между фитоценозом и почвой. Количество поступающего опада, его состав и скорость деструкции в значительной степени определяют характер формирования лесной подстилки, морфологию и свойства почвы.

Цель данного исследования – оценка запасов и состава древесного опада на вырубке среднетаежного ельника на автоморфной почве.

Объект исследования – 5–6-летняя вырубка ельника на автоморфной почве, расположенная в подзоне средней тайги Республики Коми. При проведении лесосечных работ использована скандинавская технология, базирующаяся на применении многооперационных машин хорвестеров и фарвардеров, технология лесосечных работ узкопосечная. На вырубках была заложена постоянная пробная площадь (ППП) размером 0.24 га. На лесосеке трелевочные

волока шириной 3.3–3.6 м чередуются с пасаками шириной 13–15 м. Количество опада растенной древесного яруса определяли с помощью опадоулавливателей размером 0.5×0.5 м [1] в 10-кратной повторности на каждом технологическом элементе (пасака и волок).

На пасечных участках вырубке ельника черничного общее количество самосева и подростта, представленного березой, елью, рябиной, ивой и сосной, составляет 65.1 ± 6.6 тыс. экз. га⁻¹. На волочном участке вырубке в количестве 9.7 ± 0.6 тыс. экз. га⁻¹ присутствует самосев и подрост березы, ели и ивы. На вырубке также представлен подлесок кустарниковой формы. Особи шиповника и жимолости встречаются как на пасечных, так и на волочных участках.

Масса опада (в среднем для двух лет наблюдений) составляет $28.6 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ для пасечного и $26.3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ для волочного участков. На пасечном участке значительная часть древесного годового опада приходится на березу (45.1 %). Опад ели и сосны составляет 7.0 %. На вырубке возрастает роль подлеска. На долю рябины и ивы приходится 13.4 и 5.5 % соответственно. Вклад подлеска кустарниковой формы составляет 19.2 %. С растительными остатками поступает 9.8 % от массы годовичного опада. На волочных участках в годовом опаде доминируют фракции ивы (55.7 %) и березы (26.3 %). Участие хвойных пород и подлеска кустарниковой формы составляет 3.6 и 2.3 % соответственно. На растительные остатки приходится 12.1 % от массы годовичного опада.

На вырубке ельника на автоморфной почве поступает древесного наземного опада в 1.3–1.5 раза меньше, чем на вырубках ельников на полугидроморфных почвах [2] и в 7–9 раз меньше, чем в старовозрастных среднетаежных ельниках [3].

Работа выполнена в рамках бюджетной темы НИР «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» № 1021051101417-8-1.6.19.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 145 с.
2. Лиханова Н.В. Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги // Известия вузов. Лесной журнал. 2014. № 3. С. 52–66.
3. Бобкова К.С., Кузнецов М.А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журн. общ. биол. 2022. Т. 83, № 6. С. 434–449.

ЛЕТНИЕ ПОТОКИ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ХВОЙНЫХ СООБЩЕСТВ

Кузнецов М.А., Осипов А.Ф.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, kuznetsov_ma@ib.komisc.ru

По интенсивности эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы можно судить о скорости процессов деструкции органического вещества и характеризовать биологическую активность почв. Количество CO₂, выделяемое различными почвами, зависит от разных факторов, как биологических – стадией развития и темпом жизнедеятельности почвенной флоры и фауны, дыханием корней, так и климатических – температурой, влажностью воздуха и почвы, количеством поступающих осадков и др.

Цель данной работы – оценить эмиссию диоксида углерода с поверхности почвы среднетаежных хвойных сообществ в летние месяцы.

Работа выполнена в Республике Коми в подзоне средней тайги на территории Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (62°17' с.ш., 50°40' в.д.).

Исследования проводили в старовозрастном ельнике разнотравно-черничном развитом типичной подзолистой почве и спелом сосняке чернично-сфагновом – на торфянисто-подзолисто-глеевой иллювиально-железистой почве. Скорость потока CO_2 с поверхности лесной подстилки определяли при помощи воздушно-циркуляционной темной камеры диаметром 20 см инфракрасного газоанализатора LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США). Для изучения почвенного дыхания камерным методом предварительно срезали зеленую часть растений напочвенного покрова и производили измерения с поверхности подстилки в пятикратной повторности. Температуру (на глубине 10 см) и влажность (в слое 0–5 см) почвы измеряли при помощи регистраторов, входящих в комплектацию прибора.

В бореальной зоне почвенное дыхание усиливается по мере прогревания почвы и достигает максимума в середине вегетационного сезона [1, 2, 3]. Проведенные исследования позволят оценить вклад летних месяцев в сезонной динамике эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы старовозрастных хвойных сообществ средней тайги. Большое влияние на процесс выделения CO_2 оказывают погодные условия вегетационного сезона и температурный режим почв. Полученные данные планируются сравнить с литературными для данного региона.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова К.С., Кузнецов М.А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журн. общ. биол. 2022. Т. 83, № 6. С. 434–449.
2. Осипов А.Ф. Влияние межгодовых различий метеорологических характеристик вегетационного периода на эмиссию CO_2 с поверхности почвы среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового (Республика Коми) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1455–1463.
3. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Myakshina T., Sapronov D., Zhmurin V. Temperature sensitivity of soil respiration in two temperate forest ecosystems: the synthesis of a 24-year continuous observation // Forests. 2022. Vol. 13. P. 1374.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ: ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ

Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хорошаев Д.А.

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Московская область, ikurg@mail.ru*

Температура почвы и воздуха являются главными предикторами интенсивности почвенного дыхания (soil respiration, SR) как в глобальном масштабе, так и на локальном и экосистемном уровнях. Высокая вариабельность экспериментально полученных величин SR остается серьезной проблемой для количественного определения и прогнозирования эмиссионных потоков углерода в масштабах отдельных регионов и для всей планеты в целом [2]. Температурная чувствительность 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 [1]. Многие глобальные климатические модели используют фиксированное значение Q_{10} , равное 1.5 или 2.0 для всех природно-климатических условий [5].

Вместе с тем известно, что температурная чувствительность SR отрицательно коррелирует с температурой почвы и снижается с уменьшением ее влажности [5], а также имеет сезонную и межгодовую вариабельность [3]. В рамках представляемой работы, опираясь на данные непрерывного 24-летнего мониторинга за дыханием почв в двух лесных экосистемах южного Подмосковья, мы попытались оценить межгодовую вариабельность температурной чувствительности SR и выявить те факторы, которые ее определяют.

Наблюдения за дыханием почв проводили непрерывно, начиная с 1997 г. в двух лесных ценозах, расположенных (1) на территории Приокско-Террасного государственного биосферного заповедника (зрелый смешанный лес, супесчаный дерново-подбур) и (2) вблизи опытно-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (вторичный лиственный лес, суглинистая серая почва) в 3 км от г. Пушкино. Общее дыхание почвы, включающее корневую и микробную компоненты, определяли круглогодично (3–5 раз в месяц) с использованием камерного статического метода [3]. 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 осадков 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}) и гидротермический коэффициент Селянинова за летний период (HTC_{6-8}).

Оценка температурного отклика величины SR в исследуемых лесных экосистемах проводилась для всего 24-летнего ряда экспериментальных данных, для совокупностей данных по отдельным календарным сезонам, а также за сухие, влажные и нормальные по условиям увлажнения годы и дифференцированно для 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_p [4]:

$$SR = k \cdot T_p + b \quad (1)$$

$$Q_{10} = \exp(10 \cdot k) \quad (2)$$

Температурную чувствительность SR вычисляли для всего ряда данных и для выборки значений SR, измеренных в интервале T_p выше 1 °C, с тем, чтобы избежать влияния процессов замораживания/оттаивания на величину Q_{10} . Для поиска связей между величиной Q_{10} с метеорологическими индексами за время всего периода наблюдений использовали корреляционный и регрессионный анализы.

Проведенные численные эксперименты показали, что температурная чувствительность дыхания дерново-подбура супесчаной текстуры была выше, чем серой суглинистой почвы: 2.47 vs 2.26. Межгодовая изменчивость значений Q_{10} для SR в лесных экосистемах составляла 18–40 % в зависимости от температурного интервала, для которого проводился расчет, и уровня засухливости/увлажненности года исследований. 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 значений Q_{10} с количеством осадков и индексами влажности WI_{5-8} и WI_{5-9} в разные периоды вегетационного сезона. Наши результаты наглядно показали, что влагообеспеченность, которая определялась условиями засухливости в течение вегетационного периода, была ключевым фактором межгодовой изменчивости значений Q_{10} в лесных экосистемах умеренного пояса, а гранулометрический состав почвы влиял на тесноту связи между температурной чувствительностью SR и метеоиндексами.

Для оценки ранговых корреляций были рассчитаны средние значения Q_{10} в определенных диапазонах метеоиндексов и продемонстрированы их значимые тренды. Эти значения Q_{10} могут быть использованы для оценки интенсивности SR в лесных экосистемах бореальной зоны с учетом погодных условий каждого изучаемого года.

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. Учитывая отчетливую тенденцию к аридизации климата в изучаемом регионе, можно прогнозировать снижение температурной чувствительности почвенного дыхания и предположить увеличение стока углерода в лесные экосистемы бореального и умеренного поясов в условиях текущих климатических трендов. В будущем для повышения точности оценок годового потока SR и моделирования баланса углерода в лесных экосистемах перспективным является дифференцированное использование значений Q_{10} для оценки интенсивности SR в различные по метеоусловиям периоды исследований.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Bond-Lamberty B., Thomson A. A Global Database of Soil Respiration Data // Biogeosciences. 2010. Vol. 7. P. 1915–1926.
2. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // Nature. Vol. 464, N 25. P. 579–583.
3. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Khoroshaev D.A., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Zhmurin V.A., Kudryarov V.N. Analysis of the Long-Term Soil Respiration Dynamics in the Forest and Meadow Cenoses of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve in the Perspective of Current Climate Trends // Eurasian Soil Sci. 2020. Vol. e 53, N 10. P. 1421–1436.
4. Pavelka M., Acosta M., Marek M.V., Kutsch W., Janous D. Dependence of the Q_{10} Values on the Depth of the Soil Temperature Measuring Point // Plant Soil. 2007. Vol. 292. P. 171–179.
5. Zhou T., Shi P., Hu, D., Luo Y. Global Pattern of Temperature Sensitivity of Soil Heterotrophic Respiration (Q_{10}) and Its Implications for Carbon-Climate Feedback // J. Geoph. Res. 2009. Vol. 114. Art. G02016.

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА

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

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, dlip@soil.msu.ru

На о. Сахалин протяженные территории занимают заболоченные леса. Продуктивность лесов связана с аккумуляцией органического углерода в почвах. Цель исследования – оценка запасов органического углерода в профилях почв, характерных для заболоченных лиственничных лесов на северо-востоке о. Сахалин.

Исследования проводились в 2012 году в Ногликском районе о. Сахалин на территории с географическими координатами: от 51°21' до 51°29' с.ш. и от 143°17' до 143°26' в.д. В заложенных разрезах проводили морфологическое описание почвенных профилей и отбор образцов из генетических горизонтов с помощью цилиндрического бура диаметром 8.4 см. После высушивания и взвешивания проб определяли массу подстилки и плотность всех горизонтов, в них измеряли зольность и содержание органического углерода по стандартным методикам. Расчет запасов углерода в исследованных профилях почв выполняли, объединяя оценки в подстилке, отдельных торфяных и минеральных горизонтах, по следующей формуле:

$$ЗС = 0.37 \cdot M_o + 0.1 \cdot \left(\sum_{i=1}^n C_i \cdot \rho_i \cdot h_i + \sum_{j=1}^m C_j \cdot \rho_j \cdot h_j \right),$$

где ЗС – запасы углерода для всего почвенного профиля кг/м²; М_о – масса сухого вещества подстилки, кг/м²; 0.37 – доля углерода в сухом веществе подстилки; n – число торфяных горизонтов; m – число минеральных горизонтов в почвенном профиле; С_i и С_j – содержание органического углерода в отдельных торфяных и минеральных горизонтах, %; ρ_i и ρ_j – плотность отдельных торфяных и минеральных горизонтов, г/см³; h_i и h_j – мощность отдельных торфяных и минеральных горизонтов, см; 0.1 – коэффициент для перевода единиц.

Преобладающие на северо-востоке о. Сахалин заболоченные леса состоят из лиственницы даурской (*Lárix gmélinii*), с примесью пихты сахалинской (*Ábies sachalinensis*) и ели аянской (*Picea jezoensis*). В хорошо развитом кустарничковом ярусе доминирует багульник болотный (*Lédum palústre*), в моховом покрове – сфагнум (*Sphágnum*). Вследствие заболачивания на участках древостой был изрежен и угнетен, высота деревьев варьировала от 12 до 25 м. На слабо заболоченных участках отмечаются леса более высокого бонитета.

В почвенном покрове заболоченных лиственничных и елово-лиственничных лесов преобладали торфяно-глееземы потечно-гумусовые (O-Tmr-Ghi, f-CG) и перегнойно-торфяные потечно-гумусовые (O-Tmr, h-Ghi, f-CG) [1]. На слабо заболоченных территориях в пихтово-лиственничных лесах отмечены торфяно-глееземы потечно-гумусовые глубокоосветленные (O-Tmr-Ghi, e-Gf-CG) и глееземы перегнойные потечно-гумусовые (Oh-Ghi, f-CG).

Зольность, содержание гумуса, плотность и запасы углерода в профилях почв

Горизонт	Глубина, см	Зольность, %	Содержание гумуса, %	Плотность, г/см ³	Запасуглерода, кг/м ²	Доля запаса в профиле, %
Лиственничный лес, почва: торфяно-глеезем потечно-гумусовый						
O	0–11	6,5		0,07	2,8	6,7
T1	11–20	9,4		0,15	6,8	15,9
T2mr	20–45	22,3		0,26	28,8	67,5
G1hi	45–58		3,16	0,77	2,3	5,5
G2f	58–82		0,52	1,34	1,2	2,9
CG	82–110		0,29	1,42	0,7	1,6
Суммарно в профиле:					42,6	100,0
Елово-лиственничный лес, почва: торфяно-глеезем перегнойно-торфяный потечно-гумусовый						
O	0–9	9,5		0,06	2,1	8,9
Tmr, h	9–21	29,8		0,20	9,4	40,0
G1hi	21–30		10,57	0,62	4,4	18,6
G2hi	30–42		4,87	0,93	4,0	17,1
G3f	42–65		0,92	1,18	1,9	7,9
CG	65–110		0,41	1,30	1,8	7,5
Суммарно в профиле:					23,6	100,0
Пихтово-елово-лиственничный лес, почва: торфяно-глеезем потечно-гумусовый глубокоосветленный						
O	0–9	7,6		0,10	3,2	10,9
Tmr	9–31	37,3		0,22	16,8	58,0
G1hi, e	31–43		3,59	0,92	2,9	10,1
G2hi	43–57		3,50	1,08	3,9	13,6
G3f	57–85		0,59	1,32	1,6	5,6
CGf	85–100		0,32	1,44	0,5	1,8
Суммарно в профиле:					28,9	100,0
Пихтово-лиственничный лес, почва: глеезем перегнойный потечно-гумусовый						
O	0–5	19,9		0,07	1,2	7,3
Oh	5–10	20,6		0,16	3,6	21,7
G1hi	10–19		5,33	0,83	3,0	17,8
G2hi, f	19–35		3,25	0,74	2,8	17,2
G3f	33–65		1,82	1,13	3,8	23,1
CG	65–100		0,55	1,32	2,2	13,0
Суммарно в профиле:					16,6	100,0

Запасы органического углерода оценивались для отдельных горизонтов и суммарно в профилях исследованных почв (табл.) [2]. Под лиственничным лесом в торфяно-глееземе потечно-гумусовом зольность органогенных горизонтов и плотность увеличиваются вниз по профилю, при этом основной запас углерода сосредоточен в горизонте T2mg. Суммарный запас органического углерода в профиле этой почвы составил 42,6 кг/м².

В торфяно-глееземе под елово-лиственничным лесом отмечена высокая зольность перегнойно-торфяного горизонта Tmg, h и увеличение содержания гумуса в глеевом потечно-гумусовом горизонте G1hi. Наибольший запас углерода в этой почве зафиксирован в горизонте Tmg, h, составив 40 % от суммарного в профиле 23,6 кг/м². При этом более половины запаса углерода в этом торфяно-глееземе перегнойно-торфяном потечно-гумусовом сосредоточено в минеральной толще, сформированной горизонтами G1hi, G2hi, G3f, CG.

В менее заболоченном пихтово-лиственничном лесу в торфяно-глееземе потечно-гумусовом глубокоосветленном запасы углерода составили 28,9 кг/м². Зольность горизонте Tmg в этой почве достигает высокого значения – 37,3 %, при этом содержание гумуса в нижележащем минеральном гор. G1hi, e невелико вследствие развития в нем элювиального процесса. Основной запас углерода в торфяно-глееземепотечно-гумусовом глубокоосветленном сосредоточен в горизонте Tmg, который является единственным торфяным горизонтом в этом профиле.

На умеренно дренированной территории под пихтово-лиственничным лесом в глееземе перегнойном потечно-гумусовом запасы гумуса уменьшаются до 16,6 кг/м² (табл.). В этом профиле оторфованность проявляется только в нижней части подстилочного горизонта Oh, и характерно равномерное уменьшение содержания гумуса вглубь минеральной толщи.

Таким образом, под заболоченными лиственничными лесами северо-восточного Сахалина в различных подтипах торфяно-глееземов запас углерода составляет от 23,6 до 42,6 кг/м², а в глееземе уменьшается до 16,6 кг/м², при этом его существенная доля сосредоточена не только в торфяных, но и в нижележащих минеральных горизонтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Лупатов Д.Н., Щеглов А.И., Манахов Д.В., Брехов П.Т. Пространственное варьирование запасов органического углерода в торфяных почвах и глееземах на северо-востоке о. Сахалин // Почвоведение. 2021. № 2. С. 211–223.

ЗИМНЯЯ ЭМИССИЯ CO₂ ИЗ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННО-КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА

Лопес де Гереню В.О.¹, Курганова И.Н.¹, Мякшина Т.Н.¹, Сапронов Д.В.¹,
Хорошаев Д.А.¹, Аблеева В.А.²

¹ *Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Московская область, vlopes@mail.ru*

² *Станция Фонового Мониторинга Приокско-Террасный заповедник, Данки, Московская обл.*

Россия является одним из самых холодных регионов мира со среднегодовой температурой воздуха около –4 °С. Холодный сезон с отрицательными температурами почвы, наличием снежного покрова, повторяющимися циклами замерзания-оттаивания оказывает заметное влияние на процессы взаимодействия растений с почвой, гидротермический и питательный режимы, почвенную микробиоту и эмиссию парниковых газов из почв [1, 3, 4]. Дыхание почв в холодное время года может составлять от 5 до 60 % общего годового потока углекислого газа (CO₂) из почв [2, 5], свидетельствуя о значительной роли холодного периода

в формировании углеродного бюджета в экосистемах бореальной зоны. Однако из-за невысоких абсолютных значений зимних потоков CO_2 из почв и трудностей, возникающих при проведении экспериментальных наблюдений в холодное время года, большинство исследований по определению эмиссии CO_2 из почв проводят, как правило, в течение вегетационного сезона. Основная цель представляемой работы заключается в количественной оценке вклада холодного периода в формирование годового потока CO_2 из почв двух лесных ценозов, выполненной на основе непрерывных 21-летних круглогодичных наблюдений.

Исследования проводили в южном Подмоскowie на территории Приокско-Террасного государственного биосферного заповедника (ПТГБЗ, Московская обл., $54^{\circ}55'$ с.ш., $37^{\circ}34'$ в.д.) в квазиклиматском смешанном лесу с хорошо развитым травянистым ярусом (супесчаный-дерново-подбур, Entic Podzol) и во вторичном широколиственном лесу (суглинистая серая почва, Haplic Luvisol) вблизи опытно-полевой станции ИФХиБПП РАН ($54^{\circ}20'$ с.ш., $37^{\circ}37'$ в.д.) недалеко от г. Пущино. Климат в регионе исследований – умеренно-континентальный, со среднегодовой температурой воздуха 5.2°C (за 1973–2018 гг.) и среднегодовым количеством осадков – 667 мм за тот же период.

Общее дыхание почвы (soil respiration, SR) определяли в утренние часы (между 9 и 12 час) непрерывно в течение 21 года (1998–2018 гг.) с периодичностью 3–5 раз в месяц методом закрытых камер. Измерительные камеры устанавливали на поверхность почвы между растениями. Величину среднемесячной скорости почвенного дыхания ($\text{г C}/(\text{м}^2\text{сут})$) вычисляли как арифметическое среднее из всех измерений, проведенных в течение месяца. Суммарные месячные потоки CO_2 почв (MoSR, $\text{г C}/(\text{м}^2\text{мес})$) рассчитывали с учетом продолжительности соответствующего месяца. Сезонные (SeSR, $\text{г C}/(\text{м}^2\text{ сезон})$) и годовые (AnSR, $\text{г C}/(\text{м}^2\text{ год})$) потоки CO_2 из почв были получены суммированием соответствующих месячных потоков. Календарная зима (декабрь–февраль) соответствовала зимнему сезону, а за холодный период года мы условно принимали шестимесячный период с ноября по апрель.

В рамках исследования был проведен анализ метеорологических данных, который включал построение линейных временных трендов за 46-летний цикл метеонаблюдений (1973–2018 гг.) и за современный 21-летний период (1998–2018 гг.), сопряженный с многолетними непрерывными наблюдениями за эмиссией CO_2 из почв лесных ценозов. Построение линейных трендов на годовом и сезонном уровнях осреднения было проведено для следующих метеорологических показателей: температура воздуха ($T_{\text{в}}$), сумма осадков ($\sum \text{ос}$), продолжительность устойчивого снежного периода (ПснП) и максимальная высота снежного покрова (МВсн).

Анализ метеорологических данных позволил выявить в районе исследований статистически значимое ($p < 0.05$) увеличение среднегодовой и среднесезонных значений $T_{\text{в}}$ за рассматриваемый 46-летний период. Наиболее значительное ее повышение было зарегистрировано в летний и зимний сезоны ($a = 0.53\text{--}0.54^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$). В последние 2 декады был отмечен значимый тренд уменьшения ПснП со скоростью 18 дней/10 лет. Аномально коротким был снежный период в 2007, 2014, 2016 и 2018 гг., когда его продолжительность была на 25–70 дней короче, чем климатическая норма.

Интенсивность выделения CO_2 (SR-rate) с поверхности исследуемых лесных почв в холодный период года варьировала от значений, близких к нулевым ($0.05\text{--}0.08\text{ г C}/\text{м}^2/\text{сут}$), до весьма значительных величин ($2.00\text{--}2.40\text{ г C}/\text{м}^2/\text{сут}$), характерных для периодов оттаивания почв и многократно превышающих минимальные летние значения SR-rate в годы с длительными засухами ($0.43\text{--}0.50\text{ г C}/\text{м}^2/\text{сут}$). Суммарные месячные потоки CO_2 из лесных почв под лесной в холодное время года отличались значительной вариабельностью, превышающей 25–35 %, а размах варьирования всегда превышал среднее значение. Месячные потоки CO_2 из серой почвы были выше, чем из дерново-подбура, но эти различия между двумя лесными ценозами не были статистически достоверны. Значимых корреляций между величинами MoSR и метеорологическими характеристиками за изучаемый период не выявлено.

Величины SeSR в холодный период года в 2.3–2.5 превосходит суммарные зимние потоки CO₂ из почв, составляющие в среднем 66–104 г С/м²/сезон. Коэффициент вариации суммарных зимних потоков был существенно выше, чем вариабельность суммарного дыхания почв в холодный период года: 39–42 % vs 24–25 %.

Доля зимнего сезона в годовом потоке CO₂ из почв лесных ценозов составляла в среднем 12–13 %, иногда достигая 19–21 %. Доля холодного периода в отдельные годы превышала 30–35 %, в среднем составляя 27–29 %.

Таким образом, холодный период (ноябрь–апрель) в зоне умеренно-континентального климата играет существенную роль в формировании годового потока CO₂ из почв, обеспечивая в среднем 1/4 часть его величины. Доля зимнего сезона (декабрь–февраль) составляет в среднем 12–13 %, достигая в отдельные годы 1/5 часть суммарного годового потока CO₂ из почв. Периоды оттаивания почв сопровождаются существенными всплесками эмиссии CO₂, сравнимыми со среднелетними значениями SR-rate. Таким образом, недоучет дыхания почв в холодный период года может привести к искаженной оценке углеродного баланса наземных экосистем в бореальной и умеренной зонах.

Исследование выполнено в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Brooks P.D., Grogan P., Templer P.H., Groffman P., Oquist M.G., Schimel J. Carbon and nitrogen cycling in snow-covered environments // Geogr. Compass, 2011, Vol. 5. P. 682–699.
2. Contosta A.R., Burakowski E.A., Varner R.K., Frey S.D. Winter soil respiration in a humid temperate forest: The roles of moisture, temperature, and snowpack // J. Geophys. Res. Biogeosci., 2016. Vol. 121. P. 3072–3088.
3. Kreyling J., Beierkuhnlein C., Jentsch A. Effects of soil freeze-thaw cycles differ between experimental plant communities // Basic Appl. Ecol. 2010. V. 11. P. 65–75.
4. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Blagodatskaya E. Effect of snowpack pattern on cold-season CO₂ efflux from soils under temperate continental climate // Geoderma. 2017. V. 304. P. 28–39.
5. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Khoroshaev D.A., Myakshina T.N., Sapronov D.V., Zhmurin V.A. and Kudryarov V.N. Analysis of the Long-Term Soil Respiration Dynamics in the Forest and Meadow Cenoses of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve in the Perspective of Current Climate Trends // Eurasian Soil Sci. 2020. V. 53 (10). P. 1421–1436.

ВЫДЕЛЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ 10-ЛЕТНЕЙ ВЫРУБКИ СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО (СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Осипов А.Ф.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, osipov@ib.komisc.ru

Среди антропогенных факторов наиболее негативное влияние на цикл углерода оказывают промышленные рубки, среди которых преобладают сплошные [1]. Дыхание почвы (SR) является вторым по величине потоком углеродного цикла, отклик которого на заготовку древесины неоднозначен [4, 5] и требует накопления экспериментальных данных для снижения неопределенностей при оценке круговорота углерода пострубочных сообществ. Это особенно

актуально для лесных экосистем России, где исследования дыхания почв на вырубках единичны [2, 3]. Цель работы – охарактеризовать эмиссию CO_2 с поверхности почвы спустя 10 лет после сплошной рубки сосняка черничного в условиях средней тайги Республики Коми с учетом технологических элементов рубки (пасечные участки и волока).

Исследования проведены в течение бесснежных (май–октябрь) периодов 2019–2021 гг. Сплошная рубка сосняка черничного на площади 5 га проведена в зимний период 2008 г. с использованием бензопил и хлыстовой трелевкой деревьев. В настоящее время древесный ярус пострубочного сообщества на пасечных участках формируют ель, береза и сосна (состав 8Е2Б+С), густотой 746 экз. га⁻¹ с запасом древесины 31 м³ га⁻¹ и полнотой 0.37. Порубочные остатки (кроны деревьев, вершины) были сложены на волоках, что в зимний период рубки препятствует нарушению структуры верхних горизонтов почвы. Почва – торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-гумусово-железистая (Gleyic Folic Albic Podzol (Arenic)), песчаная. На волоках отмечен активный лесовозобновительный процесс. Подрост густотой 12.2 ± 4.2 экз. $\times 10^3$ га⁻¹ образован, главным образом, березой мелкой и средней категории крупности, а участие сосны составляет 22 %. Измерение эмиссии CO_2 проводились один – два раза в месяц с мая по октябрь, используя газоанализатор LI COR 8100 (LI-COR Inc., США) с почвенной камерой 20 см. Расчеты выноса углерода с дыханием почвы выполнены по уравнению Вант-Гоффа и данным непрерывных измерений температуры почвы при помощи датчиков НОВО для бесснежного (май–октябрь), вегетационного (май–сентябрь) периодов и летних месяцев.

Кривая эмиссии CO_2 с поверхности почвы рубки сосняка черничного с мая по октябрь имеет «классический» характер, показанный для лесных почв таежной зоны. Это выражается в относительно высоком дыхании почвы в июле–августе и низкой интенсивностью в осенние месяцы. Однако, период максимальной эмиссии CO_2 из почвы различался в годы исследования. Так, в 2019 г. более активное выделение диоксида углерода наблюдалось в июле (2.9–4.4 гСм⁻² сут⁻¹ в зависимости от технологического элемента), тогда как в 2020–2021 гг. его пик смещался на август и составил, соответственно 2.0–3.1 гСм⁻² сут⁻¹ для пасечных участков и 3.9–5.5 гСм⁻² сут⁻¹ для волоков с более высокими значениями в 2021 г. Наблюдаемый сдвиг максимума потока CO_2 связан с особенностями накопления тепла в почве в периоды наблюдений. Сравнение дыхания почв технологических элементов выявило, что выделение CO_2 с поверхности волоков значимо ($p < 0.05$) выше, чем пасечных участков. Так, в 2019 г. величины среднемесячной эмиссии волоков превышали аналогичные данные на пасеках в 1.3–1.5 раза, за исключением октября ($p = 0.145$), в 2020 г. – в 1.3–1.4 раза, в 2021 г. – в 1.5–1.9 раза, кроме мая ($p = 0.121$).

Температура и влажность почвы являются наиболее значимыми абиотическими факторами, определяющими величину дыхания почвы. Выявлена положительная, статистически достоверная ($R^2 = 0.12$ – 0.86 ; $p < 0.001$) взаимосвязь между потоком CO_2 с поверхности почвы всех технологических элементов рубки сосняка черничного и температурой почвы на глубине 10 см. Влияние влажности почвы на эмиссию диоксида углерода зависело от технологического элемента. Так, отрицательная, средняя, достоверная ($R^2 = 0.27$; $p < 0.001$) взаимосвязь исследуемых параметров установлена для волоков в 2019 г., тогда как в 2021 г. с меньшим выпадением осадков она не значима ($p = 0.310$). На пасечных участках отсутствовала зависимость в 2019 г., когда отмечалось интенсивное выпадение осадков, а отрицательная, средняя корреляция ($R^2 = 0.37$; $p < 0.001$) наблюдалась в 2021 г. с дефицитом влаги.

В течение бесснежного периода с дыханием почвы пасечных участков в атмосферу поступает 303–379 гСм⁻², волоков – 419–573 гСм⁻². Вклад вегетационного периода составлял 86–90 %, а летних месяцев 56–65 % от выделения С– CO_2 с мая по октябрь. Меньшая интенсивность потерь углерода наблюдалась в 2019 г., а более высокие в 2021 г. Следует отметить, что бесснежные периоды 2020 и 2021 гг. были сопоставимы, тогда как достоверные отличия выявлены в течение вегетации и летних месяцев. Рассчитано, что с поверхности всей лесосеки

(5 га) вынос углерода составил 16.3, 20.4, 19.6 т углерода в течение бесснежных периодов 2019, 2020 и 2021 гг., соответственно, что эквивалентно 60–75 т CO₂. Доля волоков в общий поток CO₂ с поверхности лесосеки составил 26–29 %.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (номер государственной регистрации 122040100031-8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 36–49.
2. Молчанов А. Г., Курбатова Ю. А., Ольчев А. В. Влияние сплошной вырубki леса на эмиссию CO₂ с поверхности почвы // Известия РАН. Серия биологическая. 2017. № 2. С. 190–196.
3. Осипов А.Ф. Влияние сплошной рубки на дыхание почвы среднетаежного сосняка черничного Республики Коми // Лесоведение. 2022. № 4. С. 395–406.
4. Čater M., Darenova E., Simončič P. Harvesting intensity and tree species affect soil respiration in uneven-aged Dinaric forest stands // Forest Ecology and Management. 2021. Vol. 480. 118638. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118638>.
5. Korkiakoski M., Tuovinen J.P., Penttilä T., Sarkkola S., Ojanen P., Minkkinen K., Rainne J., Laurila T., Lohila A. Greenhouse gas and energy fluxes in a boreal peatland forest after clear-cutting // Biogeosciences. 2019. Vol.16. P. 3703–3723.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЫХАНИЯ ТИПИЧНОЙ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ХВОЙНО-ЛИСТВЕННОГО НАСАЖДЕНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ СПЛОШНОЙ РУБКИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Осипов А.Ф.¹, Дымов А.А.^{1,2}

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

² Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

osipov@ib.komisc.ru

Сплошные рубки, характеризующиеся заготовкой более 70 % от объема древесины на лесосеках, являются доминирующим типом рубки в бореальных лесах являются источником неопределенности при оценке баланса углерода [4, 5]. Так, если снижение поглощения углерода пострубочной экосистемой является общей тенденцией, то интенсивность дыхания почвы (SR) в результате рубки либо усиливается [2], либо снижается [3]. Поэтому, накопление эмпирических данных по величине эмиссии диоксида углерода с поверхности почв послерубочных сообществах разных типов и стадий восстановительной сукцессии остается актуальной задачей. Особый интерес представляют работы, характеризующие трансформацию свойств и процессов в экосистемах, сочетающие данные до и после нарушения на одних и тех участках [Дымов и др., 2022]. Цель настоящей работы оценить трансформацию эмиссии CO₂ с поверхности типичной подзолистой почвы среднетаежного хвойно-лиственного насаждения после сплошной рубки.

Работа проведена в Республике Коми (РК) с мая по октябрь 2020–2022 гг. в рамках эксперимента [1], суть которого заключается в комплексном изучении исходного хвойно-лиственного насаждения (ИЛ) на типичной подзолистой почве (Albic Retisols) в 2020 году, с последующей рубкой его древостоя и дальнейшем наблюдении в первые годы (2021–2022 гг.) восстановительной сукцессии. Эмиссию CO₂ измеряли раз в месяц при помощи LI COR 8100 с почвенной камерой диаметром 20 см. Хвойно-лиственное насаждение, произрастающее

рядом с вырубкой, было выбрано в качестве Фона во время исследований 2021–2022 г. Оценку выноса углерода с дыханием почвы проводили по уравнению Вант-Гоффа для трех временных интервалов: май–октябрь (бесснежный период), май–сентябрь (вегетация) и летние месяцы, используя данные по среднесуточной температуре почвы на глубине 10 см, измеренную при помощи метеостанций НОВО. Температурный коэффициент Q_{10} и показатель SR_{10} рассчитывали по экспоненциальному уравнению зависимости выделения диоксида углерода от температуры почвы на глубине 10 см приведенному к линейному виду.

Эмиссия CO_2 с поверхности почвы ненарушенных насаждений (ИЛ и Фоновое) и вырубки имеет положительную, статистически достоверную ($R^2 = 0.17–0.79$; $p < 0.001$) взаимосвязь с температурой почвы на глубине 10 см. Установлено негативное воздействие сплошной рубки на температурный отклик дыхания типичной подзолистой почвы, выраженное уменьшением коэффициента Q_{10} на пасечных участках вырубки в 1.2–2.5 раза по сравнению с ненарушенными насаждениями. Влияние влажности почвы на выделение CO_2 с ее поверхности отрицательное, статистически не значимо в годы исследований на вырубке и достоверно только в 2022 г. в фоновом хвойно-лиственном насаждении ($R^2 = 0.29$; $p = 0.011$).

Относительно высокие величины дыхания почвы ИЛ наблюдались в июле и августе 2020 г., тогда как в фоновом насаждении ход кривой сезонной динамики различался в годы исследований. Так, для данных в 2022 г. выявлена «классическая» кривая с максимумом июле–августе, тогда как в 2021 г. пик выделения отмечался в июне, что обусловлено погодными условиями 2021 г.: активным выпадением осадков (больше в 1.2–2.0 раза, по сравнению с 2020 и 2022 гг.) и меньшей (на 2.2–2.3 °С) средней температурой воздуха в июле 2021 г. и засушливым августом. В 2021 г. наибольшее значение SR вырубки установлено в июне, а в 2022 г. – в июне–июле, с отсутствием достоверной разницы между этими месяцами. В первый год после сплошной рубки различий скорости среднемесячной эмиссии между ИЛ и вырубкой не выявлено в июне и сентябре, а в июле и августе SR на вырубке было в 1.6 раза ниже. На второй год после сплошной рубки среднемесячная величина SR на вырубке было ниже в 1.2–2.0 раза по сравнению с ИЛ во все месяцы за исключением октября. Среднемесячная величина эмиссии CO_2 в фоновом хвойно-лиственном насаждении по сравнению с вырубкой была выше в 1.4–1.7 в 2021 г., и в 1.9–3.1 раза в 2022 г. за исключением мая, когда SR было сопоставимо в годы исследований.

Рассчитано, что в течение бесснежного периода 2020 г. с поверхности почвы ИЛ выдвинулось 400 гС/м², 90 % которого пришлось на вегетацию, а вклад летних месяцев составил 73 %. По сравнению с ИЛ в первый год после сплошной рубки поступление С- CO_2 в атмосферу в течение лета снизилось в 1.2 раза, а на второй год – в 1.5 раза. По сравнению с фоновым насаждением вынос углерода с дыханием почвы вырубки был ниже в 1.7–1.9 раза в течение всех анализируемых временных интервалов в годы исследований. Во время летних месяцев с поверхности почвы вырубки выделялось 55–59 % от выноса С- CO_2 с мая по октябрь, а вклад вегетации составил 84–87 %. В фоновом хвойно-лиственном насаждении с июня по август поступление углерода в атмосферу было несколько выше (60–66 % от бесснежного периода), тогда как доля вегетации была сопоставима (86–88 %) с величиной, полученной для вырубки.

Таким образом, выявлено, что сплошная рубка древостоя оказывает существенное влияние на дыхание типичной подзолистой почвы в условиях средней тайги Республики Коми. Показано, что на однолетней вырубке по сравнению с контрольными участками уменьшается скорость эмиссии CO_2 . На второй год после сплошной рубки выявлено снижение интенсивности SR по сравнению с первым годом, что связано меньшей скоростью разложения растительных остатков, появившихся в результате рубки.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 23-74-10007 «Изменение почв и компонентов цикла углерода в ходе восстановительной сукцессии после сплошной рубки в средней тайге европейского Северо-Востока России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Севергина Д.А., Кутявин И.Н., Осипов А.Ф., Дубровский Ю.А. Изменения почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1426–1441. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22110028>.
2. Молчанов А. Г., Курбатова Ю. А., Ольчев А. В. Влияние сплошной вырубki леса на эмиссию CO₂ с поверхности почвы // Известия РАН. Серия биологическая. 2017. № 2. С. 190–196.
3. Осипов А.Ф. Влияние сплошной рубки на дыхание почвы среднетаежного сосняка черничного Республики Коми // Лесоведение. 2022. № 4. С. 395–406. <https://doi.org/10.31857/S0024114822030111>.
4. Kuuluvainen T., Gauthier S. Young and old forest in the boreal: critical stages of ecosystem dynamics and management under global change // Forest Ecosystems. 2018. Vol. 5. P. 26. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0142-2>.
5. Mäkipää R., Abramoff R., Adamczyk B., Baldy V., Biryol C., Bosela M., Casals P., Curiel Yuste J., Dondini M., Filipek S., Garcia-Pausas J., Gros R., Gömöryova E., Hashimoto S., Hasegawa M., Immonen P., Laiho R., Li H., Li Q., Luysaert S., Menival C., Mori T., Naudts K., Santonja M., Smolander A., Toriyama J., Tupek B., Ubeda X., Verkerk P.J., Lehtonen A. How does management affect soil C sequestration and greenhouse gas fluxes in boreal and temperate forests? – A review // Forest Ecology and Management. 2023. Vol. 529. P. 120637. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120637>.

БЕНЗОЛПОЛИКАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ КАК МАРКЕРЫ ПИРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Паюсова И.В.¹, Габов Д.Н.¹, Груздев И.В.¹, Дымов А.А.^{1,2}

¹ Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, irina.payusova2016@yandex.ru

² Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, aadyumov@gmail.com

Пожары являются одним из важнейших факторов изменения большинства наземных экосистем планеты [4]. Экосистемы северных широт содержат существенные запасы материалов, которые потенциально могут быть подвержены пирогенному воздействию. Послепожарные изменения свойств почвы происходят вследствие быстрой минерализации ее органической части, лесной подстилки и опада. В ходе пожаров образуется «черный углерод» или «углерод пирогенного происхождения» (PyC). В настоящее время PyC рассматривается как один из наиболее стабильных пулов углерода [6]. Важными биомаркерами пирогенного воздействия являются бензолполикарбонные кислоты (БПКК) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Несмотря на широкое освещение данной темы в литературе [1, 2, 3, 5], остаются спорными вопросы изменений пулов данных соединений непосредственно после воздействия пожаров, миграционные характеристики соединений и их сохранность в почвах.

В связи с чем цель данной работы заключалась в оценке влияния пожара на изменение содержания углерода пирогенно-модифицированных соединений и их трансформация в постпирогенных почвах сосняка лишайникового.

Полевые исследования проводили на участке сосняка лишайникового, пройденного беглым низовым пожаром в июле 2021 года. На следующий день после пожара были отобраны образы почв из пирогенных органогенных горизонтов и верхних минеральных горизонтов в трехкратной повторности и установлены лизиметры под лесную подстилку. В дальнейшем, лизиметрические воды откачивали с периодичностью один раз в месяц в течение вегетационных периодов 2021 и 2022 гг. Повторный отбор образцов почв проводили через

один год и два месяца после пирогенного воздействия. Общее содержание углерода определяли на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba). Содержание углерода ($C_{\text{ВОВ}}$) водорастворимых органических соединений определяли на анализаторе TOC-VCPN (Япония, Shimadzu) с модулем TNM-1. БПКК определяли согласно методике [7]. Для полного извлечения ПАУ из почв использовали систему ускоренной экстракции растворителями ASE-350 (Dionex Corporation, США). Вынос веществ в составе лизиметрических вод рассчитывали с учетом объема вод.

Согласно полученным результатам выявлено, что в результате пожара резко возросло содержание общего углерода. В верхнем пирогенном горизонте почв содержание углерода возросло в 1,2 раза по сравнению с исходной подстилкой, а минеральном – 1,5 раза по сравнению с исходным подзолистым горизонтом. На второй год, содержание углерода снизилось и приблизилось к данным с условно-фоновым участком.

В исследуемых образцах изменение суммарного содержания БПКК органогенного горизонта через один день после пожара возросло от 0,57 % (условно-фоновая подстилка) до 8,33 % (пирогенный горизонт) от массы образца. В пересчете на углерод, содержащийся в молекулах кислот, для органогенного горизонта до и после пожара изменения составили от 0,26 % до 3,76 %. Возрастание содержания БПКК в верхних минеральных горизонтах непосредственно после пожара не выявлено. Через один год и два месяца суммарное содержание БПКК уменьшилось в два раза. Возрастание суммарного процентного содержания соединений в верхнем пирогенном горизонте происходит за счет всех индивидуальных кислот: гемимеллитовая, тримеллитовая, тримезиновая, пиромеллитовая, меллофаниковая, пренитовая, бензолпентакарбоновая имеллитовая кислоты.

В результате вымывания продуктов горения, растений напочвенного покрова и подстилки в первые десять дней в составе лизиметрических вод возросла концентрация общего органического и неорганического углерода. Содержание общего органического углерода через десять дней после пожара составило $181,5 \text{ мг/дм}^3$, а неорганического – $4,5 \text{ г/дм}^3$. Суммарный вынос органического и неорганического углерода составил $3966,18 \text{ мг/м}^2$ и $98,34 \text{ мг/м}^2$ соответственно. Через один месяц после пожара, концентрация уменьшилась в три раза. Больше чем за полгода происходило постепенное вымывание образовавшихся пирогенных частиц.

Максимальная массовая концентрация ПАУ в лизиметрических водах была выявлена через десять дней после пожара. Через три месяца концентрация ПАУ уменьшилась в 11 раз. Через один год и три месяца ПАУ не были зафиксированы, что говорит об их полном вымывании из почв. За счёт обильного выпадения осадков, уже через четыре месяца после пожара была вымыта большая часть миграционно-способных ПАУ из почв. После этого, на протяжении года, суммарная массовая концентрация ПАУ в лизиметрических водах оставалась практически неизменной. Суммарный вынос ПАУ с учётом площади лизиметра через десять дней составил $11,53 \text{ мкг/м}^2$. Через три месяца после пожара, он снизился до $2,3 \text{ мкг/м}^2$. Осенью следующего года, концентрация частиц составила $0,87 \text{ мкг/м}^2$, что говорит о том, что значительная часть пирогенно-модифицированных соединений была вымыта из почвы.

Таким образом, на протяжении первых десяти дней после пожара наблюдается резкое возрастание общего углерода в верхнем органогенном и минеральном горизонте. Также наблюдался залповый вынос пирогенных частиц, органического и неорганического водорастворимого углерода. Через три месяца концентрация соединений в лизиметрических водах резко сокращается. На второй год после пожара полученные данные варьируются с показателями условно фоновых горизонтов.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 122040600023-8 «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв бореальных и арктических экосистем европейского Северо-Востока в условиях антропогенных воздействий, глобальных и современных региональных климатических трендов».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Брянин С.В., Данилов А.В., Суслопарова Е.С., Иванов А.В.* Пулы пирогенного углерода лесных почв Верхнего Приамурья // *Лесоведение*. 2022. № 3. С. 285–296. DOI: 10.31857/S0024114822030044.
2. *Кошовский Т.С., Пискарева В.М., Язрикова Т.Е., Гамова Н.С.* Воздействие лесных пожаров на состав и распределение ПАУ в почвах Южного Прибайкалья // *Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века*. Новосибирск, 2017. С. 58–62.
3. *Никерина Н.В., Литвиненко И.В.* Специфика биоаккумуляции полициклических ароматических соединений (ПАУ) в водных экосистемах // *Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии*. Петрозаводск, 2018. С. 278–281.
4. *Bento-Goncalves A., Vieira A., Ubeda X., Martin D.* Fire and soils: Key concepts and recent advances // *Geoderma*, 2012. V. 191. P. 3–13.
5. *Dymov A.A., Startsev V.V., Milanovsky E.Y., Valdes-Korovkin I.A., Farkhodov Y.R. Yudina A.V., Donnerhack O., Guggenberger G.* Soils and soil organic matter transformations during the two years after a low-intensity surface fire (Subpolar Ural, Russia) // *Geoderma*. 2021. V. 404. P. 115–278. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021. 115–278.
6. *Forbes M.S., Raison R.J., Skjemstad J.O.* Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems // *Sci. Total Environ*. 2006. V. 370. P. 190–206.
7. *Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W.* Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers // *Organic Geochemistry*. 1998. V. 2. P. 811–819.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПОД ПОЛИДОМИНАНТНЫМИ ДРЕВОСТОЯМИ

Припутина И.В.¹, Шанин В.Н.^{1,2}, Фролов П.В.¹, Быховец С.С.¹

¹ *Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино*

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва*

Актуальность оценок углеродного баланса лесных почв при разных вариантах лесопользования определяется ролью лесов в долговременном депонировании органического вещества, что важно для снижения последствий техногенной эмиссии CO₂ [1]. Запасы и динамика C_{орг} в почвах зависят от особенностей поступления поверхностных и внутрипочвенных фракций опада, с одной стороны, и потерь в результате гетеротрофного дыхания – с другой. Фактором неопределенности оценок баланса углерода и его эмиссионной составляющей на биогеоценологическом уровне является характерная для лесов вариабельность гидротермических условий и состава опада под пологом древостоя [2]. В этой связи, имитационное моделирование пространственно-видовой структуры лесной растительности и анализ ее вклада в формирование и динамику почвенных пулов и потоков углерода имеет важное значение для лесной экологии и практики лесопользования.

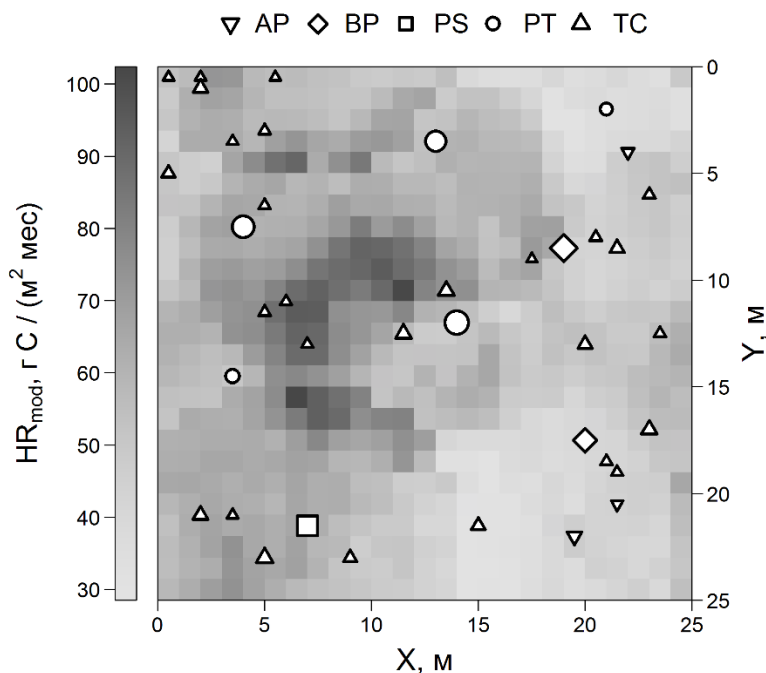
Объект и методы исследований. В работе использована система моделей EFIMOD3 [3], которая позволяет моделировать сопряженную динамику биогенного круговорота С и N в лесных экосистемах с учетом пространственно-видовой структуры растительных сообществ и вариабельности почвенных условий.

Вычислительные эксперименты выполнялись на примере дерново-подбура (Entic Carbic Podzol) под сосново-широколиственным лесом в Приокско-Террасном государственном заповеднике (южное Подмосковье; 54.89° N, 37.56° E). Лесной фитоценоз сформировался в результате зарастания участка после вырубki сосновых древостоев в 1930-х гг. Актуальная формула древостоя 4С3Лп2Ос1Б ед. Д, относительная полнота 0.7–0.8; возраст сосны более 100 лет (отдельных деревьев – более 150), березы и осины 80–85, липы и дуба 40–50.

Профиль почвы представлен горизонтами O–AY–Vf–BC–C. Лесная подстилка ферментативного типа, мощностью 2–5 см. Гумусово-аккумулятивный горизонт супесчаный, темно-серый, мощностью от 8–10 до 12–13 см, с низким содержанием углерода ($C_{орг}$ 1–2 %) и азота ($N_{общ}$ \approx 0.1 %). В горизонте Vf содержание $C_{орг}$ и $N_{общ}$ снижается до 0.2–0.3 и 0.01 %, соответственно. Объемная масса горизонтов – AY 1.15, Vf и BC 1.6–1.7 г/см³. Запасы $C_{орг}$ в подстилке оцениваются в 0.646 кг/м², в органо-минеральной части профиля – 2.135 кг C/м²; соответствующие значения C:N – 25 и 9.3.

Вычислительные эксперименты выполнялись для условного участка размером 25 × 25 м, представленного имитационной решеткой с размером ячеек 0.5 × 0.5 м. Сгенерированная в модели EFIMOD3 пространственно-видовая структура древостоя соответствовала таксационным характеристикам реального лесного участка. По данным геоботанических описаний дополнительно сгенерирован напочвенный покров. Количество всех фракций опадов древесного яруса и напочвенного покрова рассчитывали в рамках соответствующих блоков EFIMOD3. Вычисления проводились для временного отрезка 1991–2021 гг., с месячным шагом, отдельно для каждой ячейки с учетом положения деревьев и видов напочвенного покрова в пространстве имитационной площадки и характерных для них стадий вегетации. Содержание C и N во фракциях опадов разных видов определено по литературным данным на стадии параметризации EFIMOD3 [3]. Необходимые для выполнения расчетов данные о температуре и влажности воздуха получены из архива ВНИИГМИ–МЦД; данные о количестве осадков и поступлении азота – по наблюдениям Станции комплексного фоновое мониторинга на территории заповедника.

Результаты. На уровне средних значений для разных лет, варьирование рассчитанных величин суммарного (корневое и гетеротрофное) дыхания почв составило 115–125 г C/(м²мес) в летний период и 10–20 г C/(м²мес) в зимний. Полученные результаты хорошо коррелируют с имеющимися для этого лесного участка данными полевых измерений [4]. При схожем характере динамики корневого и гетеротрофного дыхания (максимум в летние, минимум в зимние месяцы), их соотношение в течение года сильно варьирует; в летние – доля корневого дыхания исследуемого фитоценоза оценивается в 40–45 % от суммарного, в зимний – до 5 %.



Оценки варьирования гетеротрофного дыхания почв (HR_{mod}) для июля 2018 г.

Условными знаками показано расположение деревьев: AP – *Acer platanoides*, BP – *Betula* spp., PS – *Pinus sylvestris*, PT – *Populus tremula*, TC – *Tilia cordata*; размер знаков пропорционален диаметру деревьев

В качестве примера неоднородности распределения в пространстве имитационной площадки показателей гетеротрофного дыхания на рисунке приведены данные расчетов для июля 2018 г. Схожая картина получена и для других месяцев: с разницей в абсолютных значениях между началом (май) и серединой вегетации (июль) примерно в 2 раза, и последующим снижением к концу вегетации (ноябрь) в 3–4 раза. При этом различия интенсивности гетеротрофного дыхания между разными ячейками в каждый из сроков несколько выше – до 3.5 раз в мае и июле, и примерно 5-кратное в ноябре.

Результаты имитационного эксперимента соответствуют имеющимся представлениям о влиянии пространственной структуры лесных сообществ на динамику пулов и потоков углерода в лесных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Гитарский М.Л., Блинов В.Г.* Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов: Амирит, 2017. 279 с.
2. *Карелин Д.В., Азовский А.И., Каманяев А.С., Замолодчиков Д.Г.* Значение пространственного и временного масштаба при анализе факторов эмиссии CO₂ из почвы в лесах Валдайской возвышенности // *Лесоведение*. 2019. № 1. С. 29–37.
3. *Шанин В.Н., Фролов П.В., Припутина И.В., Чертов О.Г., Быховец С.С., Зубкова Е.В., Портнов А.М., Фролова Г.Г., Стаменов М.Н., Грабарник П.Я.* Моделирование динамики лесных экосистем с учетом их структурной неоднородности на разных функциональных и пространственных уровнях // *Вопросы лесной науки*. 2022. Т. 5, № 3. Статья № 112.
4. *Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Myakshina T., Sapronov D., Zhmurin V.* Temperature sensitivity of soil respiration in two temperate forest ecosystems: The synthesis of a 24-year continuous observation // *Forests*. 2022. V. 13. 1374.

ЗАПАСЫ ОСНОВНЫХ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВАЛЕЖЕ В СТАРОВОЗРАСТНОМ СРЕДНЕТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ ЧЕРНИЧНОМ

Ромашкин И.В.¹, Шорохова Е.В.², Капица Е.А.², Галибина Н.А.¹, Никерова К.М.¹

¹ *Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, romashkin@krc.karelia.ru, galibina@krc.karelia.ru, knikerova@yandex.ru*

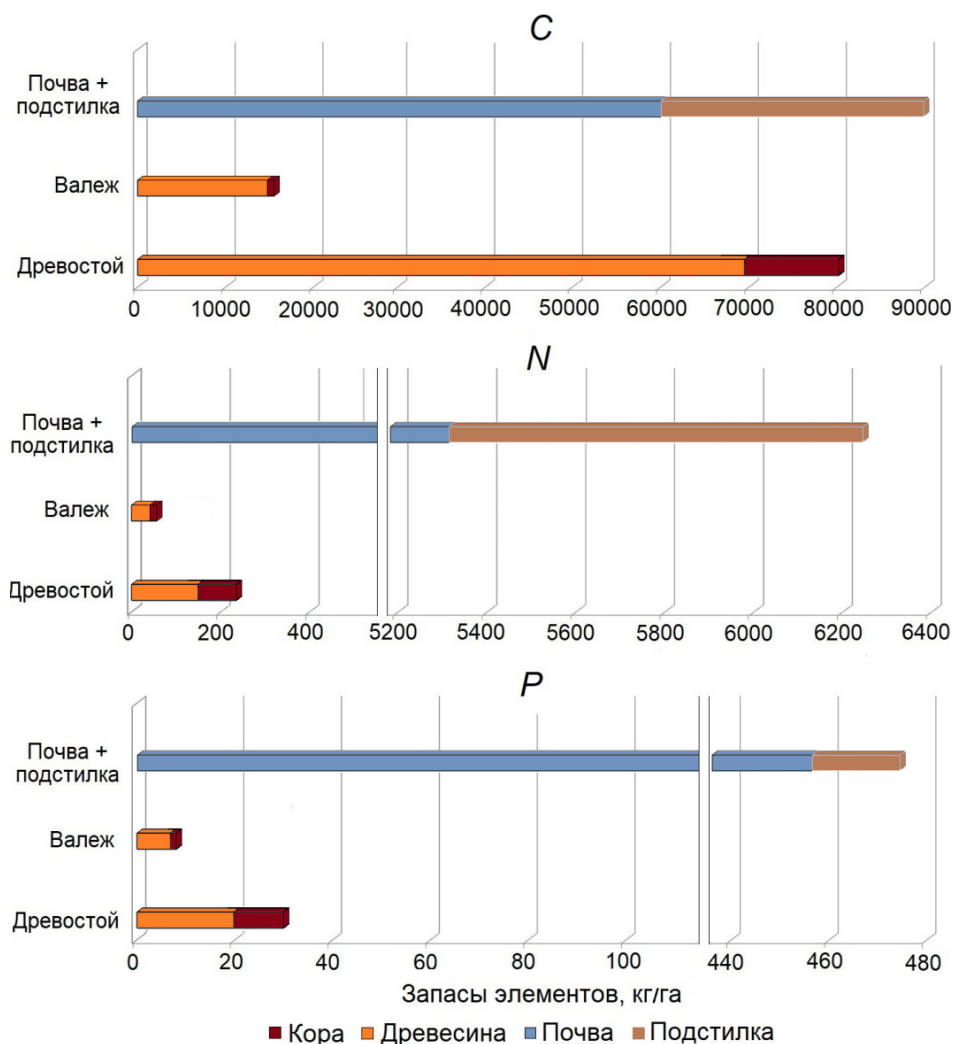
² *Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, shorohovaekaterina2016@gmail.com, ecology@spbftu.ru*

Крупные древесные остатки (КДО) составляют значительную часть мертвого органического вещества в лесных экосистемах [4]. Процессы разложения КДО влияют на почвообразование [3] и углеродный баланс [5]. Таежные почвы бедны азотом (N) и фосфором (P) [1], что лимитирует рост и развитие растений и почвенной биоты. Накопление этих элементов в разлагающейся древесине следует рассматривать как один из факторов стабилизации биологических круговоротов и самовоспроизводства лесов таежной зоны. Необходимо оценить вклад КДО в запасы основных биогенных элементов в масштабе лесного биогеоценоза.

Исследование проводили на постоянных пробных площадях (ПП) ИЛ КарНЦ РАН в среднетаежных ельниках черничных и кислично-черничных, приуроченных к подзолам иллювиально-железистым и элювиально-метаморфическим глееватым почвам [2]. На исследованных ПП валеж являлся наиболее представленной фракцией КДО – его вклад варьировал от 82 до 91 % при запасах КДО от 97 до 162 м³/га. Исследовано 73 валежных ствола основных лесобразующих пород среднетаежной подзоны – ели европейской (*Picea abies* Karst.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), березы повислой и пушистой (*Betula* spp.), осины (*Populus tremula* L.), продолжительность разложения которых варьировала от 0 до 70 лет.

В условиях среднетаежного старовозрастного ельника общие запасы углерода (С) в валеже на исследуемых ПП варьировали от 15065 до 20843 кг/га, запасы N – от 45 до 62 кг/га, запасы P – от 6,4 до 8,3 кг/га. Эти значения, в целом, были ниже рассчитанных для стволовой части живых деревьев древостоя. Запасы С в коре и древесине валежа были, соответственно, в 13,9 и 4,7 раза ниже по сравнению с этими показателями в стволах живых деревьев. Схожие различия были характерны и для других элементов: для N различия составили 10,6 и 2,1 раза, для P – 10,0 и 2,9 раза для коры и древесины, соответственно. Вклад коры в общие запасы С, N и P в валеже был 3,0, 5,0 и 3,6 раза ниже по сравнению с этим показателем у живых деревьев в составе древостоя. Это обусловлено значительными запасами валежа поздних классов разложения с сильно фрагментированной корой или полным ее отсутствием.

Суммарные запасы С, N и P в валеже, стволовой части живых деревьев древостоя, а также лесной подстилке и 25-сантиметровом слое почвы (по данным Н.Г. Федорец и др. [2]), составляют приблизительно 185,7, 6,5 и 0,51 т/га, соответственно (рис.). Вклад валежа был значительно ниже по сравнению с другими компонентами: значения составили 8,4 %, 0,8 % и 1,7 % от суммарных запасов С, N и P, соответственно. Валеж также имел значительно меньшие запасы указанных элементов по сравнению с лесной подстилкой: эти различия составили в среднем 2, 17 и 2,3 раза для С, N и P, соответственно.



Запасы С, N и P (кг/га) в коре и древесине валежа и стволовой части живых деревьев древостоя (данные настоящего исследования), в подстилке и почве (по данным Н.Г. Федорец и др. [2]) в масштабе биогеоценоза в условиях среднетаежного ельника

Полученные результаты демонстрируют, что доля валежа в запасах биогенных элементов в масштабе лесного биогеоценоза относительно невелика, что связано с его меньшими абсолютными запасами по сравнению с древостоем, а также меньшей площадью проективного покрытия по сравнению с почвой и подстилкой. Тем не менее, валеж является наиболее важной в функциональном плане фракцией КДО, представляющей собой многообразие мозаично расположенных по площади субстратов, сформированных стволами различной размерности, породы и класса разложения. Неотъемлемое участие валежа в биогеохимическом круговороте является одним из важных аспектов устойчивости таежных лесов.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базилевич Н.И., Титлянова А.А.* Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 223 с.
2. *Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н.* Почвы и почвенный покров заповедника Кивач // Труды Карельского НЦ РАН. 2006. Т. 10. С. 131–152.
3. *Błońska E., Kasprzyk M., Spolnik A.* Effect of deadwood of different tree species in various stages of decomposition on biochemical soil properties and carbon storage // Ecological Research. 2017. Vol. 32. 193–203.
4. *Didion, M., Frey, B., Rogiers, N., Thürig, E.* Validating tree litter decomposition in the Yasso07 carbon model // Ecological Modelling. 2014. Vol. 291. P. 58–68.
5. *Harmon M.E., Fasth B.G., Yatskov M., Kastendick D., Rock J., Woodall C.W.* Release of coarse woody detritus-related carbon: a synthesis across forest biomes // Carbon Balance and Management. 2020. Vol. 15 (1). e1.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ГОРНОГО ДАГЕСТАНА

**Салихов Ш.К., Гасанов Г.Н., Яхияев М.А., Кичева Ж.О.,
Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С.**

*Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала,
salichov72@mail.ru*

Органический углерод почвы является ключевым показателем плодородия почвы и играет жизненно важную роль в связывании CO₂ и других парниковых газов, связанных с глобальным потеплением [4].

Запас органического углерода в почве является основным планетарным ресурсом, поддерживающим многие критически важные экосистемные услуги. Снижение запасов органического углерода является одним из важных универсальных показателей деградации земель и почв и ставит под угрозу усилия в отношении продовольствия, здоровья, воды, климата и управления земельными ресурсами [5].

В горных регионах с различием почв, обусловленной высотой местности, различной склоновой экспозицией и крутизной склонов, микроклиматом участков значительно различаются и запасы C_{орг.} в почвах [6].

Цель исследования – определение содержания и запасов C_{орг.} в лесных почвах горного Дагестана.

Материалы и методики исследования

Для определения содержания $C_{орг.}$ из почвенных разрезов послойно, через каждые 20 см отобраны образцы, в которых проведено определение углерода методом Тюрина, путем окисления органического вещества смесью $H_2SO_4+K_2Cr_2O_7$ и последующего определения на КФК-2МП. Во всех изученных разрезах на ППП определена плотность почвы на глубинах 0–20, 20–40 см в трехкратной повторности для расчета запасов органического углерода.

На основе изучения профильного распределения $C_{орг.}$ и определения плотности почв рассчитаны их индивидуальные запасы для разных слоев почвы и суммарный запас органического углерода в почвенной толще 0–40 см.

Запасы углерода вычислены по формуле: $Q = (m \times h \times d) \times 1000$,

где Q – запасы углерода (кг/га) для почвенного слоя; m – содержание азота, %; h – мощность почвенного слоя (см); d – плотность почвенного слоя, г/см³.

Результаты исследования и обсуждение

Фундаментальным свойством почвы, определяющим воздухообмен, поглощение влаги, функционирование растений является её плотность [3].

Плотность почвы в среднем определяется величинами 1,0–1,4 г/см³, к которым экологически приспособлены большинство растений. Плотность почв горной зоны Дагестана – 1,03–1,15 г/см³, соответствует оптимальным величинам роста и развития растений. В целом, характерной особенностью изученных почв является уменьшение плотности с повышением гипсометрической отметки (табл.).

Содержание $C_{орг.}$ в лесных почвах горного Дагестана (2012–2021 гг.)

Тип почвы, склон	Глубина, см	Плотность, г/см ³	Влажность, %	$C_{орг.}$, %	Запасы, т/га
Предгорная подпровинция, 1000 м н.у.м.					
горная лугово-лесная эродированная	0–20	1,07 ± 0,02	19,1 ± 0,10	2,58 ± 0,01	55,21 ± 0,9
	20–40	1,15 ± 0,01	17,7 ± 0,08	1,63 ± 0,02	37,49 ± 0,6
	0–40				92,70 ± 0,7
Среднегорная подпровинция, 1700 м н.у.м.					
горная бурая лесная	0–20	1,04 ± 0,01	26,8 ± 0,09	2,74 ± 0,02	56,99 ± 0,8
	20–40	1,14 ± 0,01	25,9 ± 0,06	1,58 ± 0,01	36,02 ± 0,5
	0–40				93,01 ± 0,6
Высокогорная подпровинция, 2100 м н.у.м.					
горная лугово-лесная	0–20	1,03 ± 0,01	27,8 ± 0,11	2,98 ± 0,02	61,39 ± 0,6
	20–40	1,13 ± 0,01	27,3 ± 0,9	1,95 ± 0,01	44,85 ± 0,3
	0–40				106,24 ± 0,4

Содержание $C_{орг.}$ в гумусо-аккумулятивном горизонте почв демонстрирует хорошо известную биогеографическую закономерность увеличения концентрации от 1,1 % в почвах арктических пустынь к целинным степным почвам, где его содержание достигает 3,9–5,8 % и далее к югу уменьшается до 0,6 % в почвах полупустынь. Наибольшее содержание $C_{орг.}$ (5,8 %) обнаружено в целинных черноземах под естественной растительностью, которая ежегодно скашивалась и на участках почв с умеренным выпасом. В условиях абсолютно заповедного режима без выпаса и кошения содержание $C_{орг.}$ не превышало 3,9 % [2]. В почвах дагестанской части Восточного Кавказа, в условиях заповедного режима, содержание органического углерода в слое 0–20 см варьировало от 2,58 до 2,98 % (табл.), что меньше среднего содержания в почвах Среднерусской равнины.

Согласно исследованиям [1], основное накопление $C_{орг.}$ в почвах естественных лугов происходит в слое 0–30 см. При анализе данных по содержанию $C_{орг.}$ в почвах горного Дагестана основное внимание уделяли слоям: 0–20 см, соответствующему максимальным концентрациям углерода органического вещества в почвах и слою 0–40 см – корнеобитаемому

горизонту. Разница в содержании органического углерода в слое 0–20 см между почвами составила по подпровинциям: от предгорной к среднегорной – 6,2 %; от среднегорной к высокогорной – 8,76 % и от предгорной к высокогорной – 15,5 %.

В соответствии с плотностью почв и содержанием углерода увеличивались и запасы $C_{\text{орг}}$ в почвах дагестанской части Восточного Кавказа, которые росли в ряду: предгорная > среднегорная > высокогорная подпровинции Дагестана. Таким образом, для изученных нами почв характерно повышение секвестрования $C_{\text{орг}}$ с увеличением гипсометрической отметки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благовещенский Г.В., Конончук В.В., Тимошенко С.М. Углеродная секвестрация в травяных экосистемах // Кормопроизводство. 2019. № 9. С. 17–21.
2. Ерохина А.И., Ковда И.В., Матышак Г.В., Боуттон Т.В., Моргун Е.Г. Способность фиксации атмосферного углерода почвами Русской равнины и структура углеродного пула в почвах в зависимости от условий окружающей среды // Международный научно-исследовательский журнал. 2016, N 9-2 (51). С. 141–144. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.51.070>.
3. Fukumasu J., Jarvis N., Koestel J., Kätterer T., Larsbo M. Relations between soil organic carbon content and the pore size distribution for an arable topsoil with large variations in soil properties // European Journal of Soil Science. 2022, N 73 (1). e13212. <https://doi.org/10.1111/ejss.13212>.
4. Lal R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture // Journal of soil and water conservation. 2015. Vol. 70, N 3. P. 55A–62A. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.3.55A>.
5. Lorenz K., Lal R., Ehlers K. Soil organic carbon stock as an indicator for monitoring land and soil degradation in relation to United Nations' Sustainable Development Goals // Land Degrad Dev. 2019. Vol. 30, N 7. P. 824–838. <https://doi.org/10.1002/ldr.3270>.
6. Ma H.P., Yang X.L., Guo Q.Q., Zhang X.J., Zhou C.N. Soil organic carbon pool along different altitudinal level in the Sygera Mountains, Tibetan Plateau // Journal of Mountain Science. 2016. Vol. 13, N 3. P. 476–483. <https://doi.org/10.1007/s11629-014-3421-6>.

УГЛЕРОД В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ: СОДЕРЖАНИЕ, ЗАПАСЫ, ДИНАМИКА

Сухарева Т.А., Ершов В.В., Иванова Е.А.

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, Анапиты,
s.tat.a@mail.ru*

Лесные экосистемы играют ключевую роль в регулировании циклов углерода и газового состава атмосферы, однако в России отсутствует национальная система мониторинга пулов и потоков углерода в лесах.

В Мурманской области исследования по оценке содержания и запасов углерода в лесных экосистемах ведутся на сети пробных площадей биогеохимического мониторинга Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (ИППЭС КНЦ РАН). За более чем 30-летний период наблюдений, получены данные о химическом составе абиотических и биотических компонентов северотаежных лесов. Выявлены закономерности трансформации состава атмосферных выпадений, почвенных вод, почв, растений, лишайников, в том числе выполнена оценка влияния воздушного загрязнения на пулы и потоки углерода в лесных биогеоценозах [1–6]. Сформирована база данных по динамике углерода в еловых и сосновых лесах Мурманской области, которая ежегодно пополняется [7]. Долговременные стационарные исследования позволяют оценить роль репрезентативных лесных экосистем в регулировании циклов углерода и выявить недостатки методов оценки динамики пулов и потоков углерода в лесах.

В настоящее время актуальным направлением становится получение новых данных о циклах углерода на различных сукцессионных стадиях лесных экосистем с учётом современных методов и подходов для разработки системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, в том числе в Мурманской области. Эти задачи реализуются в рамках Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». В 2023 г. в ходе выполнения проекта сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН проведены масштабные экспедиционные работы, в результате которых модернизированы 7 постоянных пробных площадей. Установлено дополнительное оборудование (камеры для измерения CO₂, термохроны) и проведены измерения почвенных эмиссий CO₂ на 4 площадках постоянного наблюдения, расположенных в еловых и сосновых лесах в центральной и юго-западной частях Мурманской области. В сосновых лесах, на северо-западе Мурманской области, на 3 ППН установлены лизиметры для отбора почвенных вод.

Исследования на пробных площадях проводятся с учетом факторов, определяющих варьирование циклов углерода в северотаежных экосистемах – климат, рельеф, почвы и почвообразующие породы, растительность. На функционирование лесных экосистем в Мурманской области наряду с природными, значительное влияние оказывают антропогенные факторы – рубки, пожары, воздушное промышленное загрязнение.

Проведена оценка содержания углерода в атмосферных осадках под влиянием различных факторов. Основной компонент атмосферных осадков (дождя и снега), как из биогенных, так и их антропогенных источников – углерод растворенных органических соединений. Поступление углерода с атмосферными выпадениями в почвы оценивается через концентрации, объем выпадений, что обеспечивает количественную оценку потоков углерода в экосистемах.

Выполнена оценка содержания углерода в почвенных водах еловых и сосновых лесов. Источники растворенного органического углерода в почвах – подстилка, гумус, корневые выделения растений, атмосферные осадки, биогенные (пыльца, растительные остатки, бактерии и вирусы) и антропогенные осадки (сажа, пыль). Исследования показали, что концентрации и выпадения соединений углерода из атмосферы и вынос его с почвенными водами в подкروновых пространствах выше, чем в межкروновых, что связано со смывом и выщелачиванием соединений элементов из крон деревьев, опада и почв.

Подзолы северотаежных лесов имеют малую мощность органогенного горизонта и небольшие запасы органического вещества, низкое содержание азота и гумуса в минеральных горизонтах. Значительную роль в формировании почвенного профиля подзолов играет органическое вещество. Гумусовые кислоты, образующиеся в органогенном горизонте в результате разложения и гумификации опада растений, мигрируют вниз по профилю и вызывают выветривание почвенных минералов, в результате чего происходит перераспределение химических элементов по почвенному профилю. Основные запасы почвенного углерода в северотаежных лесах, как и запасы подстилки, сосредоточены в подкروновых пространствах. В условиях воздушного промышленного загрязнения в листьях и хвое деревьев и растений напочвенного покрова увеличивается содержание углерода по сравнению с фоновой территорией, что связано с увеличением синтеза вторичных метаболитов.

Надземный опад древесных растений является источником органического вещества почв и элементов питания для биоты. Размеры и структура опада зависят от изменчивости погодных условий, состава и мозаичности древостоя, годичного прироста деревьев, их возраста, регулируя в свою очередь накопление углерода, циклы элементов в экосистемах. Растительные остатки, попадая в почву, подвергаются интенсивному разложению и гумификации. Сравнение по типам леса показало, что опад вечнозеленых растений еловых лесов по сравнению с опадом сосновых разлагался быстрее. Потери углерода при разложении также были выше в ельниках.

Выполнен сбор и анализ собственных и литературных данных по запасам фитомассы, содержанию и запасам углерода в почвах, древесных растениях, фитомассе напочвенного покрова в Мурманской области. Анализ данных показал, что информации по пулам и потокам углерода в наземных экосистемах региона недостаточно. Исследования циклов углерода должны включать сопряженный анализ атмосферных выпадений, почвы, почвенные вод, фито- и мортмассы с учетом мозаичности растительного покрова, вклада почвенной биоты. Дальнейшие исследования необходимы для развития концепции о биогеохимических циклах углерода и азота, совершенствования методологии их оценки и устойчивого управления наземными экосистемами Арктики в условиях воздействия экстремальных природных и антропогенных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова Е.А., Лукина Н.В., Смирнов В.Э., Исаева Л.Г. Влияние воздушного промышленного загрязнения на химический состав опада хвои сосны в сосновых лесах на северном пределе распространения // Лесоведение. 2022. № 2. С. 157–171.
2. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. 316 с.
3. Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаёжных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
4. Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
5. Сухарева Т.А. Элементный состав зеленых мхов фоновых и техногенного нарушенных территорий // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 3 (172). С. 89–96.
6. Ershov V., Sukhareva T., Isaeva L., Ivanova E., Urbanavichus G. Pollution-induced changes in the composition of atmospheric deposition and soil waters in coniferous forests at the northern tree line // Sustainability 2022. V. 14. Iss. 23. Articleid 15580.
7. Еришов В.В., Сухарева Т.А., Иванова Е.А., Исаева Л.Г. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623848 от 27.12.2022 г.

ГОДОВАЯ ДИНАМИКА СВОЙСТВ ПОДСТИЛОК ИСКУССТВЕННЫХ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Телеснина В.М., Семенюк О.В., Богатырев Л.Г.

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

Подстилка является неотъемлемым компонентом лесных экосистем, осуществляя связь между растительностью и почвой. К числу важнейших функций подстилок относится их роль как индикатора интенсивности биологического круговорота в экосистемах [3]. По сравнению с другими почвенными горизонтами подстилка характеризуется большей динамичностью свойств, в значительной степени отражает современные условия почвообразования и, следовательно, более чувствительна к их изменениям [2]. Данная особенность наиболее важна для функционирования зеленых городских насаждений, изучению которых стало уделяться больше внимания в связи с активным ростом городов [4]. Однако в настоящее время информации об изменении свойств подстилок в течение вегетационного периода недостаточно, в особенности для городских насаждений, что определяет актуальность настоящей работы.

Исследование посвящено изучению свойств подстилок и их динамики в городских лиственных насаждениях в течение вегетационного периода.

Объектами исследования были выбраны наиболее распространенные в Москве типы древесных насаждений: березы повислой (*Betula pendula*), липы сердцелистной (*Tilia cordata*)

и клена платановидного (*Acer platanoides*). Данные насаждения относятся к территории Ботанического сада МГУ, являются монодоминантными и имеют примерно одинаковый возраст – около 70 лет. Отбор образцов подстилок осуществлялся с площади 25×25 см в 9-кратной повторности для каждого фитоценоза в течение вегетационного периода с шагом приблизительно в 1,5 месяца. Первое измерение проводили в середине апреля, после окончания снеготаяния, когда увеличение температуры способствует началу вегетации растений и росту активности почвенной биоты. Второе и третье пришлось на начало июня и начало июля, четвертый отбор осуществлялся в начале сентября, перед началом листопада, когда предполагается их минимальные в годовом цикле запасы. Последнее, пятое измерение проводили в начале ноября, после окончания массового поступления опада. При изучении подстилок к легко разлагаемым компонентам (ЛРК) относили сумму листьев и ветоши (опад трав), а к детриту – мелкие растительные остатки, которые утратили морфологические признаки и их трудно отнести к какой-либо фракции. Ежегодно реализуемое органическое вещество подстилок рассчитывалось как разность максимальных и минимальных запасов ЛРК в течение вегетационного периода, выраженная в % от максимальных запасов [5].

Все исследуемые подстилки лиственных насаждений представлены одним подгоризонтом L и были классифицированы как деструктивные маломощные [1], что типично для лиственных насаждений природных и урбоэкосистем и указывает на высокую скорость разложения материала подстилок. Наибольшими значениями мощности характеризуются подстилки кленовых насаждений (4,5 см), наименьшими – березовых (2,2 см), что отображает особенности размера и формы листовой пластины данных пород.

Общие запасы подстилок варьируют в широких пределах от 390 до 920 г/м² в зависимости от типа насаждений и времени года, максимальные средние общие запасы подстилки отмечены в сентябре–ноябре в кленовнике.

Фракционный состав подстилки определяется видовым составом насаждений. В подстилках березняка и липняка фракция веток преобладает над остальными фракциями в течение всего вегетационного периода, где её доля варьирует от 32 до 74 %. Ветки березы и липы более ломкие и, следовательно, поступают в подстилку в большем количестве, чем ветки клена: доля фракции веток в кленовнике составляет от 15 до 40 %.

Запасы ЛРК варьируют от 27 до 440 г/м², их распределение по подстилкам изученных насаждений соответствует общим запасам подстилок и составляют около 30 % для подстилок березовых и липовых насаждений, а для кленовника половину запасов подстилки.

Детрит образуется в результате измельчения и трансформации растительных остатков и может подвергаться дальнейшему разложению. В исследуемых подстилках его запасы оцениваются от 40 до 280 г/м². Максимальное доленое участие детрита для подстилок березы и липы отмечено в апреле около 30 %, и соответствует снижению запасов ЛРК после зимы, что указывает на то, что часть ЛРК за зимний период перешла во фракцию детрита. Для подстилок кленовника в апреле запасы детрита минимальны, что, по-видимому, связано с низкой восприимчивостью листьев клена из-за большой площади их поверхности к измельчению под действием циклов промораживания-оттаивания. Наибольшая доля детрита определена в июне, что соответствует снижению запасов и доли ЛРК в этот период за счет роста интенсивности разложения органических остатков в условиях высокой активности организмов.

Для подстилок характерна направленная временная динамика свойств в течение вегетационного периода. Максимальные запасы подстилок и легко разлагаемых компонентов отмечаются после листопада, что в 2 раза и в 5–10 раз соответственно превышает минимальные значения в июне–июле.

В динамике фракционного состава наблюдается соответствие наименьших запасов легко разлагаемых компонентов с накоплением детрита (в 2,5–7 раз), что маркирует периоды (с июля по ноябрь) наиболее активного формирования детрита при разложении органического вещества.

К середине лета запасы легкоразлагаемых компонентов снижаются на 90 %. Однако для подстилок разных древесных пород прослеживаются особенности динамики разложения органического вещества подстилок. Для подстилок березы максимальная доля разложения легкоразлагаемых компонентов приходится на зимний период, что свидетельствует об активном механическом разрушении органического вещества. Для подстилок липы отмечается равномерное снижение запасов, а для подстилок клена активность разложения органического вещества приходится на период июнь–июль.

Установлено, что по доле ежегодно реализуемого органического вещества в общих запасах подстилки представляют ряд береза (25 %) – липа (29 %) – клен (32 %), что указывает на наибольшую интенсивность биологического круговорота в кленовых насаждениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
2. Богатырев Л.Г., Демин В.В., Матышак Г.В., Сапожникова В.А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение, 2004. № 4. С. 17–29.
3. Ильина Т.М., Сапожников А.П. Лесные подстилки как компонент лесного биогеоценоза // Вестн. КрасГАУ. 2007. № 5. С. 45–48.
4. Рысин Л.П., Рысин С.Л. Урболесоведение. М., 2012. 241 с.
5. Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. Использование особенностей структурно-функциональной организации подстилок для оценки интенсивности круговорота в городских насаждениях (на примере Москвы) // Почвоведение. 2021. № 5. С. 592–605.

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ ПОД КРУПНЫМ ВАЛЕЖОМ ПОСЛЕ ЕДИНИЧНЫХ И МАССОВЫХ ВЕТРОВАЛОВ В ШИРОКОЛИСТВЕННОМ ЛЕСУ

Ханина Л.Г.¹, Бобровский М.В.^{1,2}, Смирнов В.Э.^{1,3}, Иващенко К.В.², Журавлева А.И.²

¹ Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пуцзино, khanina.larisa@gmail.com

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФИЦ НЦБИ РАН, Пуцзино

³ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

Ветровалы – природное нарушение, происходящее чаще всего в результате сильных порывов ветра. Известно, что ветровалы приводят к резкому увеличению запасов древесного детрита и существенным изменениям структуры почвенного покрова. Оценки вкладов древесного детрита в запас органического вещества почвы и циклы биофильных элементов весьма противоречивы. Целью работы являлась оценка влияния крупного валежа, образующегося в результате массовых и единичных ветровалов, на физико-химические и микробиологические свойства почв широколиственных лесов.

Образцы почв были собраны в 2020–2022 гг. в широколиственных лесах заповедника «Калужские засеки»: на двух участках массового ветровала, прошедшего в 2006 г. [1], – в экотопах флювио-гляциальных песков и покровных суглинков, а также на участке старовозрастного леса, расположенного на покровных суглинках. Почвы дерново-подзолы (Podzol и Arenosol по WRB), дерново-подзолистые (Luvisol) и темногумусовые (Phaozem). На участках массового ветровала на песках взято 62 парных образца под и рядом со стволами 6 видов деревьев: березы повислой – *Betula pendula*, ели европейской – *Picea abies*, липы мелколистной – *Tilia cordata*, осины обыкновенной – *Populus tremula*, дуба черешчатого – *Quercus robur*, клена остролистного – *Acer platanoides*; на суглинках 38 парных образцов под и рядом

со стволами 5 видов деревьев: ели, осины, клена остролистного, ясеня обыкновенного – *Fraxinus excelsioru*, вяза шершавого – *Ulmus glabra*. Также было отобрано по 10 образцов в каждом экотопе вне участков массового ветровала. В старовозрастном лесу было взято 6 парных образцов под тремя крупными лежащими дубами и рядом с ними. Образцы брали из верхнего органо-минерального слоя (0–7 см). В лаборатории для каждого образца были определены физико-химические характеристики: плотность почвы (г см^{-3}), pH, содержания подвижных форм фосфора и калия (P_2O_5 и K_2O), содержание обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , емкость катионного обмена ЕКО, содержание углерода и азота (СНNS-анализатор). Среди микробных свойств почвы были определены: содержание углерода микробной биомассы (МВС) методом субстрат-индуцированного дыхания, базальное дыхание почвы (BR), активность ферментов методом флюорогенно-меченых субстратов – β -D-глюкозидазы (цикл С) и лейцинаминопептидазы (ЛАП) (цикл N) [2] и физиологический профиль микробного сообщества. Последнее было оценено техникой Micro Resp TM, при которой регистрировались отклики сообщества на внесения 14-ти разнообразных субстратов группы аминокислот, углеводов, карбоновых и фенольных кислот [3]. Эффективность разложения органического вещества почвы оценена через микробный метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$), равный отношению BR к МВС. Статистический анализ выполняли в среде R путем проведения серии однофакторных дисперсионных анализов. В качестве факторов, влияющих на свойства почвы рассматривали: (1) тип экотопа – пески и суглинки; (2) место взятия пробы – под/рядом с валежом, вне ветровала; (3) вид упавшего дерева.

Выявлены принципиальные различия в воздействии валежных стволов на свойства почв на песках и покровных суглинках. На песках физико-химические свойства дерново-подзолов на ветровале и на участке вне массового ветровала значимо не различались (5 %-й уровень значимости здесь и далее). Только C/N было значимо ниже на ветровале и составляло в среднем 12.5 ± 1.6 (SD здесь и далее) против 14.1 ± 2.0 вне массового ветровала. МВС и BR были значимо выше на ветровале по сравнению с фоновым лесом (на 47 и 55 %). На ветровале варьирование практически всех характеристик значимо объяснялось видовой принадлежностью валежа (до 76 %), а не местом взятия пробы. По физиологическому профилю микробиома почвы не наблюдалось разницы участков под стволами и рядом со стволами, а также внутри и вне массового ветровала. Только $q\text{CO}_2$ было значимо выше под стволами, чем на участках без стволов.

Дерново-подзолистые почвы на суглинках по сравнению с почвами на песках в большей степени различались по химическим характеристикам между участком массового ветровала и за его пределами, а также по месту взятия пробы под или рядом с бревном. На ветровале в целом и особенно между лежащими стволами на 40 % была выше ЕКО, чем в фоновом лесу: на ветровале между стволами наблюдались максимальные значения С и N: 3.4 ± 0.6 % и 0.29 ± 0.05 % против 2.9 ± 0.3 % и 0.24 ± 0.02 % в фоновом лесу. Выявлена значимая разница между местом отбора образцов под/рядом с бревном для большинства микробиологических характеристик почвы: под стволом на 40 % были ниже МВС и на 20 % BR. Также как и на песках, $q\text{CO}_2$ на суглинках было существенно выше на участке массового ветровала, особенно под стволами. На массовом ветровале в целом наблюдали значимое уменьшение откликов микробного сообщества на внесение большинства органических субстратов – аминокислот, углеводов, фенольных кислот. В образцах, отобранных под стволами, отмечено дополнительное уменьшение дыхательного отклика микробиома на карбоновые кислоты и углеводы. В отличие от песков, где вид лежащего ствола определял вариацию практически всех характеристик, на суглинках видовая принадлежность валежа значимо определяла только вариацию значения pH (минимальное под и рядом с елью 5.7 ± 0.4 и максимальное под и рядом с вязом 6.8 ± 0.6), а также характеристики ферментативной активности: 32 % вариации ЛАП с максимумом у ели и минимумом у осины и 26 % вариации β -глюкозидазы с максимумом у ясеня. В старовозрастном лесу на темногумусовых почвах разница между характеристиками

под стволами и рядом со стволами была еще более яркой. Под стволами на 20 % падало содержание С, N и ЕКО, при этом увеличивалось содержание подвижного Р (на 40 %) и К. Под стволами резко уменьшалась микробиологическая активность: на 70 % МВС, на 25 % ВР; существенно уменьшались отклики микробного сообщества на внесение аминокислот, углеводов и карбоновых кислот (от 30 до 50 %).

Предварительные результаты нашего исследования показывают, что на песках обогащение почвы на массовом ветровале проявляется в уменьшении отношения С/N и повышении микробиологической активности почв. Наблюдается более сильная зависимость почвенных характеристик от вида упавшего дерева, а свойства проб, взятых непосредственно под валежом и рядом с валежом, мало различаются. На суглинках многие показатели активности и богатства дерново-подзолистых почв максимальны на участке массового ветровала, но не под лежащими стволами, а рядом с ними. Здесь происходит существенное увеличение ЕКО, снижение кислотности почвы, увеличение содержания С и N. Под лежащими стволами на суглинках наблюдается снижение всех показателей почвенного богатства и активности; наиболее ярко этот эффект проявляется на более богатых темнотумусовых почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровский М.В., Стаменов М.Н. Катастрофический ветровал 2006 года на территории заповедника «Калужские засеки». Лесоведение. 2020. № 6. С. 523–536.
2. Marx M., Kandele E., Wood M., Wermbter N., Jarvis S. Exploring the enzymatic landscape: distribution and kinetics of hydrolytic enzymes in soil particle-size fractions. Soil Biol. Biochem. 2005. V. 37, No. 1. P. 35–48.
3. Moscatelli M.C., Secondi L., Marabottini R., Papp R., Stazi S.R., Mania E., Marinari S. Assessment of soil microbial functional diversity: land use and soil properties affect CLPP-MicroResp and enzymes responses. Pedobiologia (Jena). 2018. V. 66. P. 36–42.

ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА В ТИПИЧНЫХ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ РЕЗЕРВАТА «ВЕПСКИЙ ЛЕС»

Хомяков Ю.В.^{1,2}, Вертебный В.Е.^{1,2}, Капица Е.А.¹, Шорохова Е.В.¹

¹ СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, himlabafi@yandex.ru

² ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, himlabafi@yandex.ru

В таежных лесах заключена треть глобального пула углерода наземных экосистем (Bradshaw, Warkentin, 2015), большая часть которого сосредоточена в почве (Lehmann, Kleber, 2015; Crowther et al., 2016). Растительность, выступая основным источником поступления органических элементов в почву при взаимодействии с почвенной биотой, перерабатывающей растительный опад, и абиотические факторы среды определяют процессы формирования и накопления почвенного органического вещества (Кузнецова, 2021). Для грамотного управления пулами почвенного углерода при ведении климатически оптимизированного лесного хозяйства необходимо восполнение пробелов в наших знаниях о функционировании системы почва – древесный опад и отпад – растительность, особенно, в лесах, незатронутых хозяйственной деятельностью. Цель данного исследования: оценить долю углерода почвы в общем пуле углерода экосистемы, и ее вариабельность в наиболее типичных для территории коренных и вторичных ельниках резервата «Вепский лес» одноименного природного парка.

Рельеф территории – приподнятого участка древнего карбонового плато (220–260 м н.у.м.) – представляет собой возвышенную волнистую относительно дренированную моренную равнину с крупными болотными системами и переходными к холмисто-моренным

комплексам урочищами. Среднегодовая температура составляет $+2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков – 750 мм. Резерват включает в себя два лесных массива, сходных по площади различных категорий земель, условиям и мозаике местообитаний, но отличающихся в хозяйственно-историческом отношении – массива коренных среднетаежных еловых лесов, и массива, представляющего собой сочетание коренных лесов и болот с биогеоценозами вырубок 1970-х годов (Федорчук, 1998).

Пулы углерода растительности, крупных древесных остатков (КДО) и почвы изучали на восьми постоянных пробных площадях (ППП), представляющих собой пары сообществ коренного леса и сообщества, через 50 лет после первой сплошной рубки древостоя в аналогичном сообществе (Корепин и др., в печати; Капица и др., в печати; Шорохова и др., 2022). Исследовали наиболее распространенные на территории резервата чистые и смешанные ельники черничного и чернично-сфагнового типов леса. В 2022 г. описывали почвенные профили с фотофиксацией профиля и горизонтов, апробированием почвенных горизонтов на содержание свободных карбонатов обработкой 10 % соляной кислотой, а также отбором образцов для определения равновесной плотности в естественном сложении почв на глубину почвенного профиля послойно с дискретностью 10 см в рамках почвенно-генетического горизонта.

При определении равновесной плотности использовали метод режущих колец с отбором в пятикратной повторности. Образцы почв высушены при температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и проанализированы на содержание общего углерода методом сухого сжигания в токе кислорода с применением ТОС-анализатора фирмы SHIMADZU. Запас углерода рассчитывали отдельно по горизонтам и на глубину 1 м. При расчете запасов углерода на метровую толщу учитывали содержание углерода как в минеральных горизонтах, так и в лесной подстилке.

По результатам оценки почвенных профилей в 2022 г. выделены следующие типы почв: подзолистый, подстилаящая порода моренный суглинок; болотный, подстилаящая порода ленточные глины; болотно-подзолистый, подстилаящая порода моренный суглинок. Содержание общего углерода в лесной подстилке варьировало в пределах 23–48 %. В почвах подзолистого типа выявлено закономерное снижение содержания общего углерода от верхних элювиальных горизонтов к нижним иллювиальным. Концентрация углерода в подзолистом горизонте (A2) варьировала от 0,6 до 1,7 %. В иллювиальных горизонтах (B) содержание общего углерода снижалось до 0,35–0,20 %. В материнской породе – моренном суглинке – уровень содержания общего углерода составил 0,085 %. В болотной почве содержание общего углерода в подстилке в среднем составило 35 %. В торфяном слое в зависимости от глубины содержание общего углерода варьировало в меньшей степени (49–53 %). В материнской породе содержание углерода на глубине 85–100 см составило 1,13 %. Общий запас почвенного углерода в метровом слое варьировал от 93 до 2038 т С га⁻¹.

Общий пул углерода лесных биогеоценозов, включающий растительность, КДО и почву, определялся в наибольшей степени преобладающим типом почвообразовательных процессов, варьируя от 221 до 2158 т С га⁻¹. Максимальная величина общего пула углерода отмечена во вторичном березняке чернично-сфагномна болотно-подзолистой почве через 50 лет после рубки абсолютно-разновозрастного ельника чернично-сфагнового. Минимальный общий пул углерода отмечен в коренном ельнике черничном на подзолистой почве.

Продолжение исследований включает оценку внутрибиогеоценотической вариабельности почвенного углерода, в том числе в связи с динамикой ветровально-почвенных комплексов.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова А.И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, № 4. С. 41–95.
2. Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л., Андреева А.А., Мусеев Д.В. Резерват «Вепский лес». Лесоводственные исследования // СПб: СПбНИИЛХ, 1998. 208 с.
3. Шорохова Е.В., Корепин А.А., Капица Е.А., Березин Г.В., Шорохов А.А., Шорохова М.А. Цено-тическое разнообразие и долговременная динамика массива коренных таежных лесов // Лесоведение. 2022. № 6. С. 643–657.
4. Bradshaw C., Warkentin I. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux // Global Planetary Change. 2015. Vol. 128. Pp. 24–30.
5. Crowther T.W., Todd-Brown K.E.O., Rowe C.W., Wieder W.R., Carey J.C., Machmuller M.B., Snoek B.L., Fang S., Zhou G., Allison S.D., Blair J.M., Bridgham S.D., Burton A.J., Carrillo Y., Reich P.B., Clark J.S., Classen A.T., Dijkstra F.A., Elberling B., Emmet B.A. Quantifying global soil carbon losses in response to warming // Nature. 2016. Vol. 540. Pp. 104–108.
6. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // Nature. 2015. Vol. 528. Pp. 60–68.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ о. ВАЛААМ

Шешукова А.А., Бахматова К.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
a.sheshukova@spbu.ru*

Валаамский архипелаг расположен в северной части Ладожского озера, на территории Республики Карелия. Яркой особенностью архипелага является концентрация разнообразия природных сообществ, видов растений и животных, микроландшафтов на сравнительно небольшой территории [2]. Представление о ценности той или иной территории зависит от степени ее изученности. Несмотря на ряд опубликованных работ по геохимии почвенного покрова Валаама [3, 4, 5], биогеохимические особенности распределения микроэлементов в системе «порода-почва-растение» изучены недостаточно.

Валаамский архипелаг является специфической литолого-геохимической провинцией. Магматические породы Валаама (Салминская свита вулканических пород рифейского возраста – ферро-габбро, габбро-диабазы и монзониты) отличаются от других кристаллических пород Карелии обогатенностью щелочными петрогенными оксидами, Ti, P, микроэлементами и редкоземельными элементами. Эти породы подверглись до-почвенному выветриванию гидротермальными водами, поэтому в процессе почвообразования происходит трансформация унаследованных от породы глинистых минералов, а разрушение первичных минералов замедлено. Почвы о. Валаам, сформированные на магматических породах, представлены органо-ржавоземами и ржавоземами грубогумусовыми [1]. Главным процессом, протекающим в этих почвах, является железистый метаморфизм, приводящий к ожелезнению профиля. Преобладающие леса – сосняки и ельники кустарничково-зеленомошные.

Микроэлементы изучались в породах, почвенных горизонтах и растениях (мохово-лишайниковый ярус (МЛЯ), травяно-кустарничковый ярус (ТКЯ) и керны ели). Определение содержания элементов проводилось методом количественного эмиссионно-спектрального анализа в лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского. Пробная площадь (20 × 20 м) была заложена на самой распространенной на о. Валаам породе – габбро-диабазе. Участок располагался в глубине острова, вдали от локальных источников загрязнения. На этой площади были выполнены геоботаническое описание, заложен опорный разрез почвы и проведен отбор проб почвы по горизонтам, а также был взят образец почвообразующей породы и керны

из 7 деревьев ели. Образцы напочвенной растительности (отдельно для МЛЯ и ТКЯ) для анализа были отобраны с площадки 1×1 м. Растительность: ельник разнотравно-кисличный зеленомошный. Наибольшее проективное покрытие в ТКЯ у кислицы обыкновенной, майника двулистного, перелески благородной, вейника тростникового, костяники. Основные виды МЛЯ: плеуроциум Шребера, гилокомиум блестящий, дикранум большой.

Полученные результаты позволяют выделить следующие группы микроэлементов: Co и Zr концентрируются в почвообразующей породе и мелкоземе почв, но практически не накапливаются в растениях; V – элемент, приуроченный к минеральным почвенным горизонтам, накапливающийся в грубогумусовом горизонте и подстилке и практически не накапливающийся в растениях; Ni и Cu – элементы, активно накапливающиеся в растениях МЛЯ (где их содержится в 10 раз больше, чем в породе). Zn и Cr проявили тенденцию к накоплению во мхах и подстилке. Однако, содержание Zn в этих компонентах относительно породы увеличивается в 2 раза, а Cr – в 16 раз. Pb концентрируется в подстилке и грубогумусовом горизонте, где его содержание в 5–7 раз выше, чем в породе. Таким образом, подстилка и грубогумусовый горизонт являются главными концентраторами большинства микроэлементов. Несомненно, в аккумуляцию тяжелых металлов в поверхностных горизонтах почв вносит региональный перенос загрязняющих веществ в виде воздушных взвесей. Анализ древесных кернов показал, что среди изученных элементов только V, Co и Zr не накапливаются в древесине относительно породы. Содержание этих элементов древесине в 3–5 раз меньше, чем в почвообразующей породе. Наиболее интенсивно концентрируются в древесине относительно габбро-диабазы Cu (в 10–20 раз) и Zn (в 1,5–5 раз).

Таким образом, распределение микроэлементов в компонентах лесных экосистем о. Валаам отличается сложностью и отражает влияние как природных явлений биологической аккумуляции, так и процессы техногенного загрязнения преимущественно регионального уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Классификация и диагностика почв России / Сост.: Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Смоленск, 2004. 342 с.
2. Комплексные природоведческие исследования на Северо-Западе России: Валаамская и Кургальская экспедиции СПбОЕ // Труды С.-Петерб. Общества естествоиспытателей. СПб., 1998. Сер. 1. Т. 92. 105 с.
3. Морозова Р.М., Лазарева И.П. Почвы и почвенный покров Валаамского архипелага. Петрозаводск, 2002. 170 с.
4. Панова Е.Г., Гавриленко В.В., Матинян Н.Н., Шешукова А.А. Геохимическая оценка загрязнений почвенного покрова Валаамского архипелага // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2002. № 6. С. 500.
5. Шильцова Г.В., Морозова Р.М., Литинский П.Ю. Тяжелые металлы и сера в почвах Валаамского архипелага. Петрозаводск, 2008. 109 с.

СЕКЦИЯ

ПОЧВЕННАЯ БИОТА И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ. БИОИНДИКАЦИЯ

ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ГОМЕЛЬСКОГО РЕГИОНА (БЕЛАРУСЬ)

Бачура Ю.М.

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель,
julia_bachura@mail.ru*

Водоросли и цианобактерии являются неотъемлемой частью почвенной биоты лесных почв. На формирование альгоцианобактериальных сообществ в лесных почвах оказывают влияние не только почвенные условия, но и высшие растения, активность гетеротрофной микрофлоры, мощность лесной подстилки, световой и гидротермической режимы, антропогенные факторы.

В Беларуси сведений о составе почвенной альгоцианобактериальной флоры лесных биогеоценозов мало. В работе представлены результаты исследований водорослей и цианобактерий лесных почв Гомельского региона.

Отбор смешанных образцов почвы проводили на территории Калининского лесничества ГЛХУ «Гомельский лесхоз», Лоевского лесничества ГЛХУ «Лоевский лесхоз», Ченковского лесничества ГЛХУ «Корневская экспериментальная лесная база ИЛ НАН Беларуси», Ветковского лесничества ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз», Новопокровского лесничества ГЛХУ «Хойникский лесхоз». Пробные площадки на территории Ченковского лесничества были подвергнуты рекреационному воздействию (вытаптывание), на территории Ветковского и Новопокровского лесничеств – пирогенному и радиоактивному воздействию. Для выявления видового состава водорослей и цианобактерий использовали культуральные методы: почвенные и агаровые культуры [1, 6]. Культивирование проводили при постоянных условиях. Идентификацию водорослей и цианобактерий осуществляли с помощью микроскопа Nikon Eclipse 80i. Все культуры изучали в живом состоянии. При составлении систематического списка водорослей и цианобактерий положение объектов приводили по данным сайтов Algaebase и Cyanodb. Состав жизненных форм определяли в соответствии с классификацией, разработанной Э.А. Штиной и М.М. Голлербахом [7].

Всего в почве исследуемых лесных биогеоценозов выявлено 94 вида водорослей и цианобактерий, входящих в состав 9 классов, 21 порядка, 42 семейств, 68 родов [2, 3]. Наиболее широко были представлены водоросли отдела Chlorophyta – 46 видов (48,9 %); отдел Cyanobacteria включал 19 видов (20,2 %), Ochrophyta – 13 видов (13,8 %), Bacillariophyta – 9 видов (9,6 %) и Charophyta – 7 видов (7,5 %). Преобладание зеленых водорослей типично для лесных почв и отмечено в работах ряда исследователей [1, 4, 5].

Наиболее представлен в составе альгоцианобактериальной флоры был порядок Chlamydomonadales (21 вид – 22,3 %), значительной была доля порядков Chlorellales, Naviculales (по 8,5 %) и Oscillatoriales (7,5 %). В спектре семейств доминировали Chlamydomonadaceae и Chlorococcaceae (по 7,5 %), Chlorellaceae (6,4 %), Oscillatoriaceae и Pleurochloridaceae (по 4,3 %). Большинство семейств являлись маловидовыми и включали от 1 до 5 представителей, они составили 78,7 % от общего числа видов водорослей и цианобактерий. В родовом спектре наибольшей представленностью отличались *Chlamydomonas* – 7 видов, *Chlorococcum*, *Klebsormidium*, *Phormidium*, *Leptolyngbya* и *Nostoc* – по 3 вида. Большинство родов включали 1–2 вида, их доля в составе альгоцианобактериальной флоры исследованных лесных почв составила 76,6 %.

В экологическом отношении преобладали эдафотрофные водоросли и цианобактерии – 95,8 %, доля амфибиальных видов составила 3,2 %, гидрофильных – 1,1 %. Среди эдафотрофных водорослей доминировали представители Ch- и C-жизненных форм (34,1 % и 17,0 % соответственно). Водоросли Ch-жизненной формы отличаются исключительной выносливостью к колебаниям pH и влажности; их обычно относят к убиквистам; виды C-формы более требовательны к воде и часто переносят высыхание в виде спор, зигот. Значительным был вклад видов H- и X-жизненных форм (по 12,7 %). Водоросли H-формы не устойчивы против засухи и сильного света, обычно рассеяны среди почвенных частиц при достаточной влажности и затенении; виды X-формы предпочитают тенистые условия среди почвенных частиц, теневыносливы, но не устойчивы к засухе и экстремальным температурам. Менее представлены были виды B-, P- и жизненных форм. Представители B-формы – диатомовые водоросли – холодостойки, светолюбивы, не устойчивы против высыхания; P- и M-формы – нитевидные цианобактерии, засухо- и теплоустойчивые.

Сравнение таксономического состава альгоцианобактериальных сообществ (АЦБС) исследованных лесных почв приведено в таблице.

Таксономическая структура АЦБС исследуемых лесных почв

Лесничества	Таксономическая структура	Всего видов
Калининское	С _{уан} ₂ О _с _h ₃ В _а _с ₂ С _h _l _o _r ₂₀ С _h _a _r ₂	29
Лоевское	С _{уан} ₂ О _с _h ₇ В _а _с ₁ С _h _l _o _r ₂₂ С _h _a _r ₂	34
Ченковское	С _{уан} ₁₈ О _с _h ₅ В _а _с ₁₀ С _h _l _o _r ₂₅ С _h _a _r ₅	63
Ветковское	С _{уан} ₅ О _с _h ₁₁ В _а _с ₃ С _h _l _o _r ₃₆ С _h _a _r ₆	61
Новопокровское	С _{уан} ₃ О _с _h ₉ В _а _с ₃ С _h _l _o _r ₃₅ С _h _a _r ₅	55

Примечание: С_{уан} – Cyanobacteria, О_с_h – Ochrophyta, В_а_с – Bacillariophyta, С_h_l_o_r – Chlorophyta, С_h_a_r – Charophyta, индексы – число представителей отдела

Наименьшим видовым богатством водорослей и цианобактерий отличались сосняк мшистый Калининского лесничества и сосняк лишайниковый Лоевского лесничества. Антропогенное воздействие приводило к расширению и трансформации состава альгоцианобактериальных сообществ. На пирогенно-нарушенных радиоактивно загрязненных участках изменения происходили за счет увеличения количества видов зеленых, охрофитовых и харофитовых водорослей, на подверженных вытаптыванию рекреационных участках – вследствие значительного расширения доли цианобактерий и диатомовых водорослей в составе сообществ.

Таким образом, в настоящее время альгоцианобактериальная флора наземных лесных биогеоценозов Гомельского региона представлена достаточно большим количеством представителей – 94 вида. Преобладание маловидовых семейств и родов свидетельствует об упрощенной организации сообществ почвенных водорослей и цианобактерий; структура которых зависит от вида и степени антропогенной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 98 с.

2. Бачура Ю.М. Почвенные водоросли и цианобактерии антропогенно-преобразованных почв (на примере Гомельского региона). Чернигов: Десна Полиграф, 2016. 156 с.
3. Дворник А.А. и др. Разработка радиационно-экологических и альгологических критериев оценки постпирогенной сукцессии на территориях с различной степенью радиоактивного загрязнения. Гомель, Институт радиобиологии НАНБ/ГГУ им. Ф. Скорины; № ГР 20191297, 2020. 103 с.
4. Мальцева И.А. Грунтови водорости лісів степової зони України. Мелітополь: Люкс, 2009. 312 с.
5. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2011. 128 с.
6. Темралева А.Д. и др. Современные методы выделения, культивирования и идентификации зеленых водорослей (Chlorophyta). Кострома: КП дом, 2014. 215 с.
7. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ БИОКОНСОЛИДАЦИИ МИКРОМИЦЕТОВ И БАКТЕРИЙ ПРИ КОМПОСТИРОВАНИИ КОРЫ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Воробьев Н.И.¹, Пищик В.Н.¹, Попов А.А.², Жемякин С.В.²

¹ ФГБНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург,
Nik.IvanVorobyov@yandex.ru

² ООО «Петербургские Биотехнологии», Санкт-Петербург, svzhem@gmail.com

Кора хвойных деревьев содержит до 50 % лигнина и целлюлозы, которые являются молекулярными предшественниками в каскаде биохимических преобразований древесных субстратов в гумусовые вещества [1, 3, 4]. Биоконсолидация микромицетов и бактерий в деструктивную биосистему приводит к ускоренному компостированию коры хвойных деревьев. Мы полагаем, что на первом этапе микромицеты проникают своим мицелием в клетки и разрушают их, а вслед за ними бактерии, не встречая препятствий, проникают в разрушенные клетки и разлагают молекулы клеточного лигнина и целлюлозы.

Целью данного исследования было определение минимальных доз НРК, при которых тандем микромицетов и бактерий препарата Микобакт будет успешно консолидировать микрофлору компоста в деструктивную биосистему и осуществлять ускоренное компостирование коры хвойных деревьев.

В проведенном опыте использовался препарат Микобакт, выпускаемый ООО «Петербургские Биотехнологии». Ведущими микроорганизмами препарата Микобакт являются микромицеты *Penicillium chrysogenum* и целлюлозоразлагающие бактерии *Micrococcus* sp. В компостах, полученных в опыте, определялось на селективных средах обилие физиологических групп микроорганизмов: микромицетов, протеолитических и амилитических бактерий, целлюлозоразлагающих бактерий, лигниндеструкторов, а также определялись биохимические показатели компостов: Нобщ, N-NO₃, Сорг, СО₂.

Для анализа уровня биоконсолидации микроорганизмов в биосистему была создана и использовалась вычислительная нейронная сеть CompNN (рис. 1) [2], настроенная на определение индекса биоконсолидации микроорганизмов (IndVcon = 0...1). Для вычисления индекса IndVcon использовались данные частотных профилей микроорганизмов во всех вариантах опыта одновременно. Индекс IndVcon представляет собой количественный индикатор уровня биоконсолидации микроорганизмов в биосистему. Если IndVcon = 0, то биоконсолидация отсутствует. Если IndVcon = 1, то микроорганизмы полностью консолидированы в биосистему.

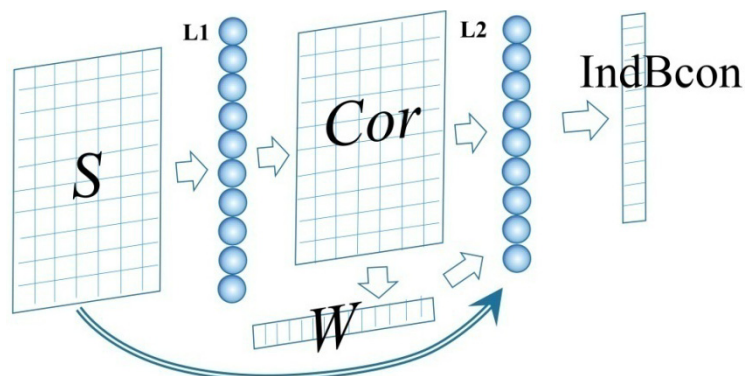


Рис. 1. Вычислительная нейронная сеть CompNN, которая используется для определения индекса биоконсолидации IndBcon микроорганизмов в компостах.

S – матрица частотных профилей микроорганизмов в компостах; Cor – матрица межвариантной корреляции-численностей физиологических групп микроорганизмов

Наибольший по величине индекс биоконсолидации микроорганизмов $IndBcon = 0,64$ (рис. 2) был обнаружен в варианте опыта с наименьшим количеством использованного NPK. Это означает, что для ускоренного компостирования коры хвойных деревьев необходимо насколько возможно минимизировать количество NPK.

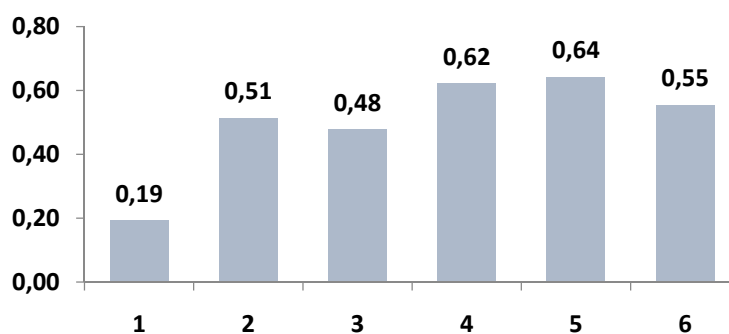


Рис. 2. Значения индекса IndBcon для шести вариантов опыта, рассчитанные нейронной сетью CompNN

Было обнаружено, что с индексом IndBcon отрицательно коррелируют значения CO_2 ($r = -0,80$), выделяемого при компостировании. Это означает, что микроорганизмы, объединенные в биосистему, выполняют биохимические преобразования органических субстратов с наименьшими энергетическими и материальными затратами ресурсов и выполняют преобразования быстрее и с наибольшей эффективностью.

Таким образом, разработанная нейронная сеть CompNN может использоваться для индикации уровня биоконсолидации микроорганизмов в почве и компостах, и оценки настроенности микроорганизмов на целевые преобразования органических субстратов. В связи с этим, применение микробиологического препарата Микобакт должно способствовать повышенной биоконсолидации микрофлоры компостов и более эффективному преобразованию органических субстратов в гумусовые вещества, которые востребованы в лесном хозяйстве. Кроме этого, препарат Микобакт позволяет решить экологические проблемы лесных отвалов из коры хвойных пород деревьев, трансформируя их в удобрение, которое может использоваться на лесных и сельскохозяйственных угодьях.

Исследование выполнено в рамках ГЗ № 0664-2019-0025 ФГБНУ ВНИИСХМ на тему «Изучить межкомпонентные связи при заселении бактерий в эндофитных и ризосферных нишах и разработать математические методы оценки их регуляции в целостной микробно-растительной системе».

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Н.И., Свиридова О.В., Попов А.А., Жемакин С.В., Пищик В.Н. Микробное деструктивное сообщество подстилки хвойных лесов – основа микробиологических препаратов для утилизации растительных остатков зерновых культур / Сб. конф. «Теоретические и прикладные аспекты лесного почвоведения» // Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С. 192–195.
2. Заикина А.С., Буряков Н.П., Воробьев Н.И., Никонов И.Н. Нейросетевой анализ соответствия микробно-организменной биосистемы кишечника птицы фрактально-стохастической модели // Пермский аграрный вестник, № 4 (40). 2022. С. 98–106.
3. Свиридова О.В. и др. Способ разложения древесины / Авт. свид. № 1792974 от 8.10.1992 // Бюл. изобр. № 5. 1993.
4. Свиридова О.В., Михалева Л.В., Воробьев Н.И., Кочетков В.В. Разложение коры хвойных деревьев грибами и бактериями // Микология и фитопатология. 2001. Т. 35. Вып. 6. С. 38–47.

ДИНАМИКА ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ И СВОЙСТВ ПОДСТИЛКИ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»

Гераськина А.П.¹, Шопина О.В.^{1,2}, Кузнецова А.И.¹, Терехова Д.А.^{1,2},
Тихонова Е.В.¹, Бавшин И.М.³, Семенов И.Н.^{1,2}

¹ ЦЭПЛ РАН, Москва, angersgma@gmail.com

² МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, semenkov@geogr.msu.ru

³ Национальный парк «Смоленское Поозерье», Смоленская область, Пржевальское,
VIM2010@mail.ru

Задачи данного исследования (в рамках большого комплекса работ) включали изучение почвенной макрофауны и свойств подстилки в лесах ряда демулационной сукцессии на месте распахиваемых земель. Выделены следующие стадии сукцессии восстановления лесов с преобладанием ели: Е0 – молодые залежи и агроценоз, Е1 – многолетние луга, Е2 – березовые леса (20–25 лет), Е3 – березовые леса (36–62 года) с преобладанием ели в нижнем ярусе, Е4 – леса с преобладанием березы (65–80 лет) и выходом ели в верхний ярус, Е5 – елово-березовые леса (80–115 лет) с формированием оконной мозаики за счет выпадения березы, Е6 – условно-коренные ельники возрастом 100–130 лет с выраженной оконной мозаикой и ветровально-почвенными комплексами. По классификации Н.А. Качинского почвы легкосуглинистые и супесчаные; WRB – крупнопесчаные и пылеватосуглинистые. В большинстве случаев почвы слабокислые.

Для изучения каждой стадии хроноряды подобраны объекты в трехкратной повторности, на которых выбраны пробные площади для проведения почвенных и почвенно-зоологических исследований. На каждой пробной площади взято по 5 стандартных почвенно-зоологических проб (размер одной пробы 25 × 25 см, глубина – 30 см). Кроме того, на лесных стадиях дополнительно проводился разбор валежа – важного местообитания крупных почвенных беспозвоночных (как правило, валеж березы и ели 2–3 стадий разложения). Всего отобрано более 150 проб макрофауны. На всех объектах исследования для каждой стадии сукцессии отобрано около 350 индивидуальных образцов для оценки запасов С и N подстилки с дифференциацией на подгоризонты OL, OF и OH, с использованием рамки размером 25 × 25 см (пятикратная повторность на каждой пробной площади). Морфология подстилок охарактеризована в полевых условиях с использованием морфогенетических классификаций [1, 2].

В ходе демулационной сукцессии увеличивается разнообразие беспозвоночных, населяющих подстилку. На стадии Е0 разнообразие подстилочной фауны низкое в связи отсутствием горизонта подстилки. На стадии Е1, где появляется горизонт OL, возрастает биоразнообразие

подстилочной фауны: появляются дождевые черви, растет численность и биомасса других сапрофагов (двупарноногие многоножки, моллюски) и хищников (пауки, жужелицы). На стадии E2, где подстилка дифференцирована на два горизонта, среди сапрофагов – переработчиков опада – наиболее многочисленны подстилочные дождевые черви и двупарноногие многоножки. Со стадии E3, начиная с которой выделяются все 3 горизонта подстилки (OL, OF, OH), появляются почвенно-подстилочные дождевые черви – самые активные переработчики опада и гумусообразователи [3, 4]. Далее на стадиях E4-E6 биомасса этой группы дождевых червей увеличивается. Установлена положительная корреляция между мощностью горизонта OH и биомассой почвенно-подстилочных дождевых червей. Таксономическое разнообразие обитателей подстилки возрастает до стадии E6. Комплекс дождевых червей стадии E6 самый богатый в хроносери и включает подстилочных (*D. octaedra*, *Dr.*, *rubidus*), почвенно-подстилочных (*L. rubellus*) и собственно почвенных (*A. rosea*) дождевых червей.

Таким образом установлено, что почвенная макрофауна меняется коренным образом при переходе от луговых сообществ к лесным. Индикаторные показатели изменений свойств растительности и почв – морфо-экологические группы дождевых червей, биомасса и состав сапрофагов и разнообразие подстилочной фауны. Максимальное восстановление макрофауны выявлено на поздних лесных стадиях. В комплексе дождевых червей восстанавливается почвенно-подстилочная группа и частично собственно-почвенная группа, трансформирующая почву до глубины 30–40 см. Восстановление структуры и свойств подстилки – дифференция на подгоризонты и переход от деструктивной к гумифицированной – сопряжено с повышением биомассы почвенно-подстилочных дождевых червей.

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда № 21-74-20171.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
2. Zanella A., Ponge J.F., Briones M.J.I. Humusica 1, article 8: Terrestrial humus systems and forms– Biological activity and soil aggregates, space-time dynamics // Applied Soil Ecology. 2018. Vol. 122. P. 103–137.
3. Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. М.: Наука, 1979. 272 с.
4. Гераськина А.П. Влияние дождевых червей разных морфо-экологических групп на аккумуляцию углерода в лесных почвах // Вопросы лесной науки. 2020. Т. 3, № 2. С. 1–20.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕМНО-СЕРОЙ ПОЧВЫ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В СОСНЯКАХ ПОГОРЕЛЬСКОГО БОРА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

**Гродницкая И.Д., Антонов Г.И., Сенашова В.А., Полякова Г.Г.,
Пашкеева О.Э., Пашенова Н.В.**

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск,
igrod@ksc.krasn.ru*

Микробиологические индикаторы целесообразно применять для оценки негативных или позитивных изменений почв и их лесорастительной способности после воздействия природных и антропогенных факторов. С 2014 г. в Институте леса им. В.Н. Сукачева проводятся эксперименты по созданию и применению в лесном хозяйстве биоудобрений на основе отходов лесопромышленного комплекса. Разработаны и изготовлены различные удобрительные композиции, содержащие опилки хвойных пород, почвенный микробно-ферментный комплекс, микродозы азотных удобрений и микопродукт, полученный путем частичной биоконверсии опилок культурой дереворазрушающего гриба (*Trametes versicolor*) [1, 3]. Наиболее эффективным

биудобрением при искусственном выращивании хвойных растений оказался вариант на основе опилочно-почвенного субстрата с добавлением микопродукта и мочевины (ОПСМ+М). Ранее было показано, что внесение ОПСМ+М в почву питомника под саженцы хвойных позволило увеличить скорость их роста и развития, а также сохранить высокую биологическую активность почвы на протяжении 3–4 лет [2]. Для восстановления антропогенно-нарушенных почв в естественных фитоценозах биодобрения не применялись. Исходя из вышеизложенного, целью исследований было оценить биологическую активность темно-серой почвы с помощью микробных индикаторов после выборочной рубки, пожара и внесения биодобрения (ОПСМ+М) в разнотравно-зеленомошном сосняке Погорельского бора Красноярской лесостепи.

В спелом (100-летнем) сосняке разнотравно-зеленомошном Погорельского бора в 2017 г. проведены выборочные рубки. На данной территории в мае 2020 г. заложили модельный эксперимент по влиянию биодобрения (ОПСМ+М) на биологическую активность почвы. Пробные площади находились на технологических участках (пасека, волок), а также в нетронutom рубкой сосняке (фон). Всего было заложено 18 пробных площадей размером 2×2 м, которые распределили по шести вариантам эксперимента: 3 контрольных – фон_К (фон контроль), пасека_К (пасека контроль), волок_К (волок контроль) и 3 опытных – фон_О (фон, опыт), пасека_О (пасека, опыт), волок_О (волок, опыт). Каждый из шести вариантов представлен 3 повторностями. Пробные площади контрольных вариантов оставили без изменений. В опытных вариантах в подстилку вносили биодобрение (ОПСМ+М) по 50 кг на каждую пробную площадь.

В мае 2022 г. на территории Погорельского бора был сильный пожар (верховой, переходящий в низовой), который прошел с разной интенсивностью. Во время пожара были повреждены деревья (на высоту 6–15 м) и почвенный покров. Экспериментальные участки (контрольные и опытные) также были пройдены огнем, выгорела вся подстилка с оставшимся от внесения 2020 г. биодобрением. После пожара во всех вариантах наряду с углями и золой на поверхности почвы осталось много несгоревших растительных остатков. Для восстановления почвы в опытные варианты участков (фон, волок, пасека) снова внесли биодобрение (ОПСМ+М), варианты без внесения биодобрения являлись контрольными.

Микробиологическую активность темно-серой почвы опытных и контрольных вариантов участков фон, волок, пасека с 2020 по 2022 гг. ежегодно определяли с помощью следующих индикаторов: общей численности микроорганизмов (ОЧМ), соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭТГМ), ферментативной активности (ФА), содержания микробной биомассы (МБ), интенсивности базального (БД) дыхания и удельного дыхания (qCO_2) микробной биомассы.

Установлено, что после рубки внесение в почву ОПСМ+М привело к увеличению всех показателей биологической активности по сравнению с вариантами без внесения: ОЧМ – в 1.5–2.9 раза, МБ – в 1.3–1.6 раза, ФА – в 1.5–2.3 раза. Отмечено, что биодобрение оказало активизирующее воздействие на микробоценозы и ферментативную активность почвы исследуемых технологических зон вырубki (волок, пасека), а также на участок (фон).

После пожара в мае 2022 г. значительно повысилось БД до 7.5–9.1 мкг С–CO₂/(г ч) и уменьшились значения МБ до 90–112 мкг С/г почвы. Внесение ОПСМ+М на сгоревшую поверхность почвы участков нивелировало постпирогенное влияние, к сентябрю снизились интенсивность дыхания БД и содержание МБ в среднем в 2.5–4.3 раза по сравнению с маем. Значения qCO_2 были довольно высокими в мае 2020 г. (спустя 3 года после рубки) во всех вариантах, а после внесения ОПСМ+М они увеличились в 1.3–1.5 раза, и не снижались в течение 2020–2021 гг. После пожара значения qCO_2 в почве всех вариантов еще увеличились по сравнению с 2020 г.: волок_К – в 3.3, пасека_О – в 4.2, фон_О – в 2.5 раза, что связано с существенным нарушением функционирования микробных сообществ. После внесения ОПСМ+М к концу вегетационного сезона 2022 г. значения qCO_2 приблизились к таковым 2021 г. Изменения значений qCO_2 в среднем в 2 раза и более, как в опытных, так и в контрольных вариантах, свидетельствуют о нестабильном состоянии микробоценозов в почве исследуемых участков.

Оценка восстановления почвы после пожара показала особенности развития некоторых таксономических групп микроорганизмов. После пожара наблюдали кратковременное увеличение количества микроорганизмов-карботрофов, вызванное поступлением в почву пирогенных продуктов (уголь, зола, обгоревшие растительные остатки). Вследствие чего наблюдали увеличение общей численности микроорганизмов, микробной биомассы, интенсивности дыхания, а также активности уреазы и инвертазы. В освоении углей и несгоревших растительных остатков активно принимали участие неспоровые бактерии (р. *Serratia*), бациллы (р. *Bacillus*), а также микромицеты родов *Trichoderma*, *Mortierella*, *Umbelopsis* и *Penicillium*. С середины и до конца вегетационного периода 2022 г. отмечали снижение микробиологической активности (ОЧМ, МБ, ФА) и видового разнообразия грибов, что указывало на постпирогенную депрессию почвенного микробиоценоза. В то же время во всех исследуемых вариантах увеличилась доля грибов родов *Trichoderma*, *Penicillium* и *Mortierella*, а также бактерий *Serratia* и *Bacillus mycoides*, образующих успешный естественный консорциум для метаболизирования продуктов пиролиза в почве и способных переводить их в доступный для других организмов субстрат.

Показано, что биологическая активность темно-серой почвы сосняка разнотравно-зеленомошного Погорельского бора зависит от вида и интенсивности антропогенных воздействий. Универсальными индикаторами состояния почвы являлись ОЧМ, МБ, qCO_2 , ЭТГМ и ФА. Специфическим индикатором после пожара следует считать изменение в почвенном микробиоценозе содержания некоторых бактерий и грибов.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. №123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Г.И., Пашенова Н.В., Гродницкая И.Д. Пат. № 2681572 11.03.2019. Опилочно-почвенный субстрат для оптимизации плодородия почв.
2. Антонов Г.И., Барченков А.П., Пашенова Н.В., Кондакова О.Э., Гродницкая И.Д. Влияние опилочно-почвенных субстратов на рост саженцев сосны и ели в лесопитомнике экспериментального хозяйства «Погорельский бор» // Лесоведение. 2021. № 3. С. 303–317.
3. Пашенова Н.В., Лоскутов С.Р., Пермякова Г.В., Анискина А.А. Влияние отвара чистотела на биоконверсию сосновых опилок культурами базидиальных грибов-ксилотрофов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: тезисы докл. IV Всерос. конф. (Барнаул, 21–23 апреля 2009 г.). Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2009. Кн. 2. С. 39–41.

ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОСТИ У ПОЧВООБИТАЮЩИХ КОЛЛЕМБОЛ

Давыдова Ю.Ю., Бубнова В.А.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина»,
Нижний Новгород, sovann@yandex.ru, bubnovaviktoria@yandex.ru

В современной этологической практике понятие «*территориальность*» понимается как любой активный механизм, с помощью которого происходит разобщение особей или групп особей в пространстве [2]. Данный термин был предложен Ю. Одумом в 1975 году и по сей день является наиболее корректным для применения при описании поведенческих механизмов поддержания индивидуальных территорий у беспозвоночных ввиду примитивности поведенческих механизмов.

Индивидуальная территория, или *home range* – это зона, в которой особи определенных групп проявляют активность с целью поддержания изоляции от конкурентов. В пределах этой территории животные чувствуют себя в безопасности, что способствует активному размножению, трофической деятельности, грумингу и отдыху [4]. По наличию всех перечисленных видов деятельности в определенной области в совокупности с защитным поведением можно судить об образовании индивидуальной территории исследуемыми особями.

Несмотря на примитивность поведенческих реакций беспозвоночных, по сравнению с более развитыми группами организмов, изучение территориальности с их помощью (к примеру, насекомых) могло бы быть более удобным: сравнительная простота разведения популяций, упрощенное содержание особей в лабораторных условиях, небольшие сроки индивидуального развития особей и др. Одна из причин, по которой территориальное поведение насекомых медленно изучалось и распознавалось, заключалась в том, что реакция на внедрение конкурентов в зону индивидуальной территории была менее явной, чем у позвоночных [3].

При описании механизмов поддержания территориальности у таких групп, как скрыточелюстные, можно предположить, что явление будет иметь химическую (феромоны и пр.) или этологическую природу. Существуют мнения, что способность коллембол к образованию агрегаций связана с наличием феромона агрегации [5, 6]. Предположительно феромоны могут вырабатываться в пищеварительном тракте ногохвосток в течение всей жизни вне зависимости от пола и активности особи. Чем плотнее агрегация животных, тем больше концентрация феромона в данной области и, соответственно, больше его привлекающая сила. Области, помеченные феромонами, привлекают коллембол сильнее, а нахождение особей в таких местах стимулирует у них откладку сперматофоров и яиц, а также процесс линьки. По мнению некоторых авторов, биологический смысл таких маркировок состоит в том, что такие метки могут привлекать ногохвосток того же вида к месту, где ранее обитали их сородичи, где, соответственно, стабильна длительная и достаточная влажность, т. е. к зоне благоприятных условий для размножения и линьки, а также отпугивать особей других видов, тем самым являясь механизмом поддержания территориальности.

Касаемо этологических механизмов территориальности, коллемболы способны к конспецифичному поведению, в рамках которого выделяются положительные, отрицательные и нейтральные контакты. В контексте поддержания территориальности стоит рассматривать именно отрицательные контакты, так как в эту группу входят всяческие агрессивные акты особей относительно друг друга. Причинами антагонистических взаимоотношений чаще всего являются борьба за пропитание, сперматофор (при неизбирательном оплодотворении) и за особь противоположного пола (при избирательном оплодотворении), а также причиной может стать элементарное действие внешнего раздражителя (задевание тела усиками другой особи, намеренное раздражение исследователем и др.), что является примером поддержания территориальности. Примерами таких реакций могут быть: позы угрозы, удары с помощью антенн, толчки и таран всем телом, укусы разных частей тела, а также каннибализм, который также встречается у коллембол [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьюсбери Д. Поведение животных: Сравнительные аспекты / Д. Дьюсбери. М.: Мир, 1981. 480 с.
2. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. М.: Мир, 1975. 740 с.
3. Baker R.R. Insect Territoriality / R.R. Baker // Annual Review of Entomology Vol. 28. 1983. P. 65–89.
4. Harestad A.S. Home Range and Body Weight—A Reevaluation / A.S. Harestad, Bunnell F.L. // Ecology Vol. 60 (2). 1979. P. 389–402.
5. Mertens J. Aggregation pheromone in *Orchesella concta* (Collembola) / J. Mertens, J.P. Blancquaert R. Bourgoignie // Rev. Ecol. Biol. Sol. 1979. Vol. 16, № 3. P. 441–447.
6. Verhoef H.A. Aggregation pheromones in *Collembola* (Apterygota); a biotic cause of aggregation / H.A. Verhoef, C.J. Nagelkerke, E.N.G. Joosse // Rev. Ecol. Biol. Sol. 1977. Vol. 14, № 1. P. 21–25.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НА ВЫРУБКАХ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Дитц А.А.

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

Лесозаготовительные мероприятия приводят к трансформации лесного растительного покрова и преобразованию почв естественно развивающихся экосистем в антропогенные. Возобновление растительности после рубок хвойных древостоев происходит через смену пород и доминантов напочвенного покрова, что способствует изменению состава растительного опада и морфологических свойств подстилок [1]. Нарушения экологических связей и пространственной структуры элементов лесного насаждения, вызванные рубкой, влекут за собой перестройку почвенных зооценозов и их функциональной активности. Основные изменения в почвенных зооценозах происходят в течение первых двух лет после нарушения, уже через 14–15 лет после рубки фауна близка по составу к ненарушенным участкам, по прошествии 30 лет после рубки почвенная фауна практически восстанавливается до естественных значений [2]. Цель данной работы – охарактеризовать пространственное распределение крупных почвенных беспозвоночных до и после вырубки елового леса.

Исследования проведены на четырех участках, расположенных в подзоне средней тайги Республики Коми. В контрольном ельнике 130–160 лет (К) древесный ярус образован *Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens* и *B. pendula*. В качестве небольшой примеси могут присутствовать *Abies sibirica* и *Populus tremula*. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса составляет 80 %, доминирует *Vaccinium myrtillus*. ОПП мохово-лишайникового яруса – 80 %, доминирует *Hylocomium splendens*, заметную роль играют *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum angustifolium*, *Polytrichum commune*. На пасечном участке 1-летней вырубке (П1) наблюдается обеднение кустарничкового яруса, ОПП травяно-кустарничкового яруса уменьшается до 15–30 %, ОПП мохово-лишайникового яруса снижается до 40–60 %, на ведущие позиции в его составе выходят виды увлажненных местообитаний. На пасечных участках 27- и 55-летней вырубок (П27 и П55) сформировались березово-еловое насаждение разнотравного типа и осиново-березовое насаждение чернично-разнотравного типа.

Для оценки разнообразия почвенных беспозвоночных на каждом из четырех участков отбирали 25 почвенных образцов, размером 10 × 10 × 8 см, по регулярной сетке, пять рядов по пять проб в каждом ряду, с шагом 5 м, итого 100 проб. Рассчитывали среднее значение численности беспозвоночных на участок и стандартную ошибку ($N \pm SE$), вычисляли среднее значение относительной влажности подстилки (W, %) на каждом участке. Степень агрегированности особей оценивали при помощи индекса Кейси по формуле: $Ic = (S^2 - M)/M^2$, где M – средняя численность данной группы, S^2 – дисперсия. При $Ic < 0$ – распределение равномерное, при $Ic = 0$ – случайное, при $Ic > 0$ – агрегированное. Связь пространственного распределения почвенных беспозвоночных с влажностью почвы оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена (r), анализ которого проводился на основе логарифмированных данных по численности таксономических и трофических групп беспозвоночных и показателям влажности и температуры подстилки ($x = \ln(n + 1)$, где n – первичные данные). Для обработки результатов были применены описательная статистика в Microsoft Office Excel 2016, программа PAST.

В контрольном ельнике (К) и на вырубках (П1, П27, П55) относительная влажность подстилки составила от 56,9 % до 63,9 %, причем на 1-летней вырубке отмечен максимум этого показателя (табл.). Температура подстилки в лиственных насаждениях П55 и П27 составила 11,4 °С и 11,8 °С, в ельнике (К) – 15,4 °С, на свежей вырубке (П1) достигла максимального

значения – 19,8 °С. Но распределение этих параметров в пространстве на всех исследуемых участках имело случайный характер, так как значения индекса Кейси (I_c) близки к 0.

В почвенных зооценозах контрольного ельника (К) и вырубках П27, П55 зарегистрировано по 10–11 таксонов крупных беспозвоночных, выявлено сходство таксономического состава, отмечено численное преобладание сапрофагов над зоофагами, доля фитофагов незначительна (не более 10 % от общей численности беспозвоночных). На 1-летней вырубке (П1) обнаружено всего семь таксонов, отсутствуют Carabidae, Staphylinidae, Lumbricidae, Diplopoda, характерные для еловых и лиственных лесов подзоны средней тайги. На участке П1 высоко относительное обилие фитофагов (33 %), при этом доля сапрофагов в общей численности беспозвоночных составила около 38 %, а зоофагов – 29 %. Минимальная численность почвенных беспозвоночных зарегистрирована на этом же участке. Максимальная численность почвенной фауны выявлена в лиственных насаждениях П27 и П55 (табл.), что объяснимо высокой численностью личинок двукрылых, временных г-стратегов, на этих участках ($261,8 \pm 48,81$ и $252,2 \pm 68,66$ экз./м² соответственно). В еловом лесу (К) численность Diptera составила лишь $28,8 \pm 6,25$ экз./м², что почти в десять раз меньше, чем в лиственных насаждениях П27 и П55. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в первый год после рубки леса на пасаках наблюдается остаточный состав почвенной фауны, резкое снижение численности беспозвоночных, нарушение структуры их сообществ. При естественном лесовозобновлении лиственными породами деревьев, в насаждениях старше 25 лет таксономический состав фауны восстанавливается, но экологическая структура сообществ беспозвоночных не соответствует таковой в еловых лесах.

Исследуемые параметры в ельнике (К) и на рубках (П1, П27 и П55)

Параметр	К	П1	П27	П55
Влажность подстилки, %	$58,1 \pm 2,13$	$63,9 \pm 2,24$	$56,9 \pm 2,13$	$57,8 \pm 2,19$
Температура подстилки, °С	$15,4 \pm 0,19$	$19,8 \pm 0,06$	$11,8 \pm 0,09$	$11,4 \pm 0,09$
Численность, экз./м ²				
зоофаги	$37,8 \pm 9,23$	$7,7 \pm 1,91$	$42,2 \pm 9,13$	$48 \pm 8,48$
сапрофаги	$40,3 \pm 7,19$	$10,2 \pm 2,96$	$283,5 \pm 46,62$	$267,5 \pm 68,58$
фитофаги	$8,9 \pm 4,63$	$8,9 \pm 2,84$	$43,5 \pm 16,21$	$23,1 \pm 10,99$
общая	$87 \pm 13,76$	$26,8 \pm 4,78$	$369,2 \pm 50,23$	$338,6 \pm 74,75$
Индекс Кейси (I_c)				
влажность подстилки	$0,02 \pm 0,002$	$0,02 \pm 0,002$	$0,02 \pm 0,002$	$0,02 \pm 0,002$
температура подстилки	$-0,06 \pm 0,001$	$-0,05 \pm 0,001$	$-0,08 \pm 0,001$	$-0,09 \pm 0,001$
общая численность	$2,25 \pm 0,969$	$0,98 \pm 0,189$	$2,35 \pm 1,118$	$3,04 \pm 0,779$

Пространственное распределение почвенных беспозвоночных как структурный параметр их сообществ может быть одним из инициирующих факторов восстановления фауны. В ельнике (К) пространственная структура почвенного зооценоза неоднородна, на что указывает $I_c = 2,25$. На свежей вырубке (П1) I_c снижается до 0,98, но распределение беспозвоночных остается агрегированным, вероятно, за счет сохранения напочвенного покрова на пасаках. В лиственных насаждениях П27 и П55 I_c , рассчитанный на основе общей численности почвенных беспозвоночных, выше, чем в ельнике К (табл.). Расчет коэффициента r показал отсутствие связи (либо слабую связь, либо недостоверные значения) численности беспозвоночных с распределением влажности и температуры подстилки на всех участках. Возможно, агрегированное распределение беспозвоночных в лесах (К, П27, П55) определяется составом древесного яруса и характеристиками напочвенного покрова.

Автор благодарен Т.Н. Конаковой, А.А. Фатеевой (Институт биологии) за помощь в отборе проб.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ № 23-24-00530.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798.
2. Siira-Pietikainen A., Haimi J., Siitonen J. Short-term responses of soil–macroarthropod community to clear felling and alternative forest regeneration methods // Forest Ecology and Management. 2003. V. 172. P. 339–353.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОЧВ ТРОПИЧЕСКИХ МУССОННЫХ ЛЕСОВ ЗАПОВЕДНИКОВ ВЬЕТНАМА

Князева А.В.^{1,2}

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
aknyazeva1999@gmail.com

² ФИЦ «Пушчинский научный центр биологических исследований РАН»,
(Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН),
aknyazeva1999@gmail.com

Почвенная микробиота принимает участие в глобальных циклах химических элементов. В частности, микробные сообщества осуществляют протекание процессов азотфиксации, нитрификации, денитрификации, деструкции органического вещества. Микроорганизмы, способные проводить данные процессы, зачастую имеют потенциал использования в биотехнологических и сельскохозяйственных целях как культуры, способные ускорять рост и накопление биомассы растений – PGPB (plant growth promoting bacteria). Одним из наиболее разнообразных пулов микроорганизмов на планете является зона тропических муссонных лесов. Значительная часть разнообразия микроорганизмов остается малоизученной. На территории Вьетнама находится большое количество заповедников и особо охраняемых природных территорий (ООПТ) с сохранившимися целинными зональными и интразональными почвами. Поэтому особый интерес представляет изучение микробных сообществ данных почв и сопряженных с ними субстратов. Также данные ООПТ сохранили в себе локусы со специфическим почвоподобным телом – «подвешенной почвы», формируемой под комплексным действием биотических и абиотических факторов. Объекты исследования включали в себя образцы органо-минеральных горизонтов А зональных и интразональных почв, растительного опада разной степени разложённости, ризосферной почвы, а также «подвешенной почвы» из корзинок эпифитов, отобранные в заповедниках Тэйзынг и Суанлиен в апреле–июне 2022 года.

Общая численность бактерий, определенная методом прямой люминесцентной микроскопии, в образцах почвы варьировала от 0,75 млрд клеток/г в красно-желтой ферраллитной почве до 1,99 млрд клеток/г в гидроморфной темной гумусно-ферраллитной почве. Для образцов растительного опада численность бактерий превышала аналогичный показатель для горизонта А почв в 2–6 раз, тогда как в «подвешенной почве» показатели численности были близки к почвенным и составляли 1,49 и 2,18 млрд клеток/г. При помощи метода посева на твердые питательные среды было показано наличие в сапротрофном бактериальном комплексе (СБК) бактерий, способных проводить процессы, связанные с круговоротом азота – азотфиксация, денитрификация (*Azotobacter* sp., *Pseudomonas* sp. и др.). Численность СБК в исследованных субстратах варьировала от 0,03 млн КОЕ/г в гидроморфной гумусно-ферраллитной почве до 5,46 млн КОЕ/г в образцах растительного опада в заповеднике Тэйзынг. Для заповедника Суанлиен наибольшие значения были также приурочены к растительному опаду (26,33 и 16,85 млн КОЕ/г) и «подвешенной почве» из корзинок папоротника *Drynaria* sp. (11,39 млн КОЕ/г).

Наибольшие значения актуальной азотфиксации, измеренной методом газовой хроматографии, были приурочены к образцам растительного опада *Cunninghamia* sp., отобранного

в заповеднике Суанлиен, и папоротниковому опаду из леса Тэйзьянг (0,634 и 0,046 мкг $C_2H_4/г*сут$ соответственно). Близкие значения были также выявлены в образцах «подвешенной почвы» (0,34 и 0,105 мкг $C_2H_4/г*сут$). Для горизонтов А зональных и интразональных почв были получены сравнимые или значительно меньшие значения. Так, наибольшая актуальная азотфиксация была приурочена к образцам зональной красно-желтой ферраллитной почвы (0,016 мкг $C_2H_4/г*сут$), наименьшие – к образцам бурой лесной почвы (0,001 мкг $C_2H_4/г*сут$). Значения, определенные для почв тропических лесов, сопоставимы с аналогичными для почв умеренной климатической зоны [1]. Полученные значения потенциальной азотфиксации также значительно варьировали между образцами. Для субстратов, отобранных в заповеднике Суанлиен, наибольшие значения потенциальной азотфиксации были обнаружены в растительном опаде и «подвешенной почве» из корзинок эпифитных папоротников (0,634 и 0,034 мкг $C_2H_4/г*сут$). Активность потенциальной азотфиксации образцов из охраняемого леса Тэйзьянг была значительно выше – в ризосферной почве *Cibotium* sp. она составляла 2,121 мкг $C_2H_4/г*сут$. В образцах почв, также, как и для актуальной азотфиксации, наибольшие значения были приурочены к ферраллитной почве (0,141 мкг $C_2H_4/г*сут$). Протекание процесса азотфиксации требует значительных затрат энергии, которые непосредственно связаны с обеспеченностью микроорганизмов органическими веществами [3]. Незначительные различия между значениями показателей актуальной и потенциальной азотфиксации указывают на достаточную обеспеченность почв углеродом, что было обнаружено в образцах бурой лесной почвы из обоих заповедников и гидроморфной темной гумусно-ферраллитной почвы леса Тэйзьянг. Высокие значения актуальной и потенциальной азотфиксации и денитрификации в «подвешенной почве» из корзинок эпифитных папоротников, предположительно, связано не только с большим количеством выделенных штаммов бактерий, связанных с циклом азота, но и с высокой активностью термитов и иных членистоногих, ассоциированных с данным субстратом [4].

Оценка величин актуальной денитрификации показала, что наибольшие значения были достигнуты в образцах бурых лесных (8,707 и 8,879 мкг $N_2O/г*сут$) и гидроморфной темной гумусно-ферраллитной (9,596 мкг $N_2O/г*сут$) почв. Наименьшие значения актуальной денитрификации были выявлены в зональной ферраллитной почве (0,345 мкг $N_2O/г*сут$). Общие низкие значения денитрификации в образцах различных почв могут указывать на обеднение верхних горизонтов почвы по нитратному азоту вследствие низких значений рН почвенного раствора, провоцирующее снижение активности автотрофных нитрифицирующих бактерий [2]. Наибольшие значения потенциальной денитрификации были приурочены к образцам растительного опада, «подвешенной» и ризосферной почв, что напрямую может быть связано с наличием живых растений, их прижизненных выделений и растительного материала на разных стадиях разложения, являющимися субстратами для развития организмов-денитрификаторов. Однако, при близких значениях потенциальной денитрификации в образцах «подвешенной почвы» из леса Тэйзьянг актуальная денитрификация протекает более активно по сравнению с образцами из заповедника Суанлиен.

Результаты оценки интенсивности протекания процессов микробной трансформации азота в почвах и сопряженных субстратах (опаде, ризосферной почве и «подвешенной почве») соотносятся с результатами, полученными классическими микробиологическими методами. Высокие значения азотфиксации в образцах растительного опада и «подвешенной почвы» в перспективе позволят осуществлять таргетированный поиск бактерий-азотфиксаторов, потенциально применимых в сельском хозяйстве в качестве активных продуцентов ценных вторичных метаболитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалевская Н.П., Завьялова Н.Е., Шаравин Д.Ю., Фомин Д.С. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы в длительном опыте с различными агротехническими приемами // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 3. С. 38–41. DOI: 10.31857/S2500-26272019338-41.
2. Кудеяров В.Н. Азотный цикл и продуцирование закиси азота // Почвоведение. 1999. № 8.

3. Мамай А.В., Степанов А.Л., Федорец Н.Г. Микробная трансформация соединений азота в почвах средней тайги // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2013. № 4. С. 32–37.

4. Тиунов А.В. (ред.) Структура и функции почвенного населения тропического муссонного леса (национальный парк Кат Тьен, Южный Вьетнам). М.: КМК, 2011. 277 с.

МЕТААНАЛИЗ ЭКОЛОГИИ ПОПУЛЯЦИЙ ПОЧВЕННОЙ КОЛЛЕМБОЛЫ *PARISOTOMA NOTABILIS SENSU LATO* В ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Кузнецова Н.А., Стрючкова А.В.

Московский педагогический государственный университет, Москва, mpnk@yandex.ru

Глобальный информационный фонд по биоразнообразию (Global Biodiversity Information Facility, (GBIF)) накапливает данные о встречаемости и численности видов в различных регионах мира. До недавнего времени информация о почвенных животных на территории России в базе GBIF была единичной. Ее существенному пополнению способствовал проект «Mobilization of biodiversity data on soil mesofauna across European Russia biomes» (Russia 2019_12), посвященный коллемболам и клещам Европейской части России (ЕЧР). В результате только по коллемболам было опубликовано более 40 тыс. отметок, а к настоящему времени их число превысило 50 тыс. для двух сотен видов. Поскольку данные в базе GBIF упорядочены определенным образом, это открывает широкие возможности для проведения различных видов метаанализа.

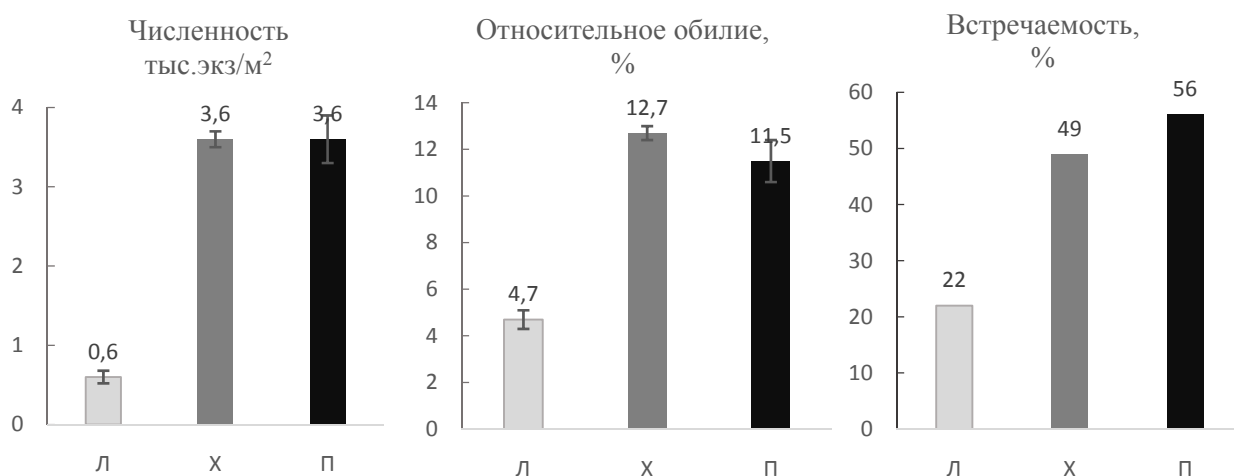
Среди коллембол ЕЧР *Parisotoma notabilis* – едва ли не самый многочисленный и широко распространенный вид. Это эврибионтный партеногенетик, включающий на сегодня 6 хорошо обособленных генетических линий, из которых пока 3 отмечены на территории ЕЧР [2]. Статус линий близок к видовому, но морфологически они практически идентичны, поэтому в GBIF приведены данные о *P. notabilis sensu lato* без разделения на линии, за исключением одного набора данных [3].

Данная работа посвящена метаанализу данных по встречаемости и численности *P. notabilis*, а также относительному обилию этого вида в сообществах коллембол лесов Европейской части России. Данные по 5399 пробам взяты из базы GBIF, а также из трех наборов данных, подготовленных к занесению в базу: два – по городским зеленым насаждениям Москвы и по пойменному лесу. Все расчеты проводили на уровне отдельных проб. Пробы были взяты на глубину обитаемого слоя подстилки и почвы с площади 8 или 25 см², поэтому для сравнения численность пересчитывали на 1 м². Относительное обилие (долю) оценивали в % от общей численности коллембол в пробах. Встречаемость рассчитывали в % от общего числа проб. Этот показатель не точен из-за различия в размере проб, мы используем его как ориентировочный. Средние значения этих трех показателей и их стандартную ошибку ($M \pm SE$) рассчитывали для следующих наборов проб: 1) все данные по лесам, 2) по широте (54–58, 59–63, 64–69 град. с. ш.), 3) по группам лесов (хвойные, лиственные, пойменные), 4) по наличию промышленного загрязнения (фон, загрязнение).

Средняя численность *P. notabilis* в лесах ЕЧР – 3,1 тыс. экз/м², вид встречается почти в половине (45 %) проб, средняя доля в сообществе – 11,3 %, т. е. вид обычно относится к числу доминирующих. В пределах лесного пояса от широколиственных лесов к северотаежным абсолютная и относительная численность вида падает почти на порядок (с 4 до 0,5 тыс. и с 13,8 до 0,6 %, соответственно), а встречаемость – примерно вдвое (с 54 до 28 %). Другими словами, вид становится малочисленным, хотя продолжает оставаться обычным.

P. notabilis предпочитает хвойные и пойменные леса, в лиственных его численность в среднем в 6 раз ниже (рис.). В первых вид обычно доминирует, а в лиственных – он чаще субдоминант. Встречаемость достигает почти половины проб в хвойных и пойменных лесах, но лишь одной пятой проб – в лиственных.

P. notabilis предпочитает незагрязненные природные леса, хотя его популяции, по сравнению со многими другими видами коллембол, относительно хорошо выдерживают загрязнение. Численность падает в 7 раз (с 3,6 до 0,5 тыс. экз/м²), а доля в сообществе и встречаемость – только в 2,5 раза (с 12,6 до 4,7 % и с 50 до 20 %, соответственно). Эти данные подтверждают отнесение *P. notabilis* к группе видов со средней толерантностью к нарушениям среды [1].



Численность, относительное обилие и встречаемость *P. notabilis* в группах лесов ЕЧР:

Л – лиственные леса, Х – хвойные, П – пойменные (M ± SE)

Таким образом, *P. notabilis* достигает наибольшей численности в южной части лесного пояса, предпочитает хвойные и пойменные леса, сохраняется при промышленном загрязнении. Вопрос о различиях генетической структуры популяций вида в различных группах лесов и в широтно-меридиональном аспекте пока остается открытым. Однако дифференцировка генетических линий *P. notabilis* s.l., показанная для градиента урбанизации [2], говорит о том, что широкое освоение видом лесного пояса должно быть основано на экологической специализации различных генетических линий вида в его широком понимании.

Работа поддержана грантом РФФ № 22-24-00984.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова Н.А. (2002). Биотопические группы коллембол (Collembola) в подзоне широколиственно-хвойных лесов Восточной Европы // Зоологический журнал. Т. 81, № 3. С. 306–315.1.
2. Striuchkova A., Malykh I., Potapov M., Kuznetsova N. (2022). Sympatry of genetic lineages of *Parisotoma notabilis* s. l. (Collembola, Isotomidae) in the East European Plain. ZooKeys 1137: 1-15. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1137.95769>.

3. Striuchkova A., Potapov M., Kuznetsova N., Malykh I. (2022). Genetic lineages of *Parisotoma notabilis* s. l. (Collembola, Isotomidae) in the East European Plain. Version 1.2. Moscow Pedagogical State University (MPSU). Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/5rm9kz> accessed via GBIF.org on 2022-12-07.

Наборы данных GBIF, использованные в работе:

<https://doi.org/10.15468/fagy0w>, <https://doi.org/10.15468/r2rom4>,
<https://doi.org/10.15468/mrvyfb>, <https://doi.org/10.15468/fxgdlg>,
<https://doi.org/10.15468/uy7fss>, <https://doi.org/10.15468/k9ncpu>,
<https://doi.org/10.15468/adrljww>, <https://doi.org/10.15468/r2rom4>,
<https://doi.org/10.15468/jryd8a>, <https://doi.org/10.15468/ebzeuw>,
<https://doi.org/10.15468/gerjyl>, <https://doi.org/10.15468/jun8pp>,
<https://doi.org/10.15468/3cotsj>.

МИКРООРГАНИЗМЫ МЕРЗЛОТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Кузьмина Н.П., Ермолаева С.В., Чевычелов А.П.

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск,
erel1982@mail.ru, sveta_efa@mail.ru, chev.soil@list.ru*

В настоящей работе впервые проведено сравнительное изучение микробных сообществ мерзлотных лесных почв Центральной Якутии. Целью исследования являлось изучение количественного состава некоторых функциональных групп микроорганизмов и их распределение по профилю мерзлотных почв данной территории и выявление корреляции между различными параметрами почв, характеризующими состояние микробного комплекса. Всего было заложено и исследовано 5 почвенных разрезов мерзлотных лесных почв на территории Якутского ботанического сада (ЯБС), а именно разрезы 1БС-18, 2БС-18, 5БС-18, 8БС-18 и 11БС-18. Разрез 1БС-18 заложен в микропонижении, на участке сосново-березового леса с кустарничково-зеленомошно-разнотравным напочвенным покровом. Географические координаты: широта – 62°01'22.0"N, долгота – 129°37'32.1"E, Н – абсолютная высота 98.0 над ур. м. Разрез 2БС-18 заложен на мезоповышении, на участке коренного смешанного сосново-березово-лиственничного леса, напочвенный покров – кустарничково-зеленомошный. Географические координаты: 62°01'18.2"N, 129°37'23.2"E, Н – 101.2 м. Разрез 5БС-18 заложен на территории ЯБС, на контуре искусственного ельника разнотравно-зеленомошного. Географические координаты: 62°01'20.5" N, 129°37'15.7" E, Н – 98.5 м. Разрез 8БС-18 заложен в неглубоком плоском понижении, на контуре березового кустарничкового леса с разнотравно-злаковым напочвенным покровом. Географические координаты разреза: 62°01'28.3"N, 129°36'52.4"E, Н – 97.8 м. Разрез 11БС-18 заложен в нижней части склона коренного берега р. Лена в мертвопокровном сосняке. Географические координаты: 62°01'29.0"N, 129°36'12.7"E, Н – 108.2 м. В процессе проведенных работ применялись различные почвенные методы исследований, такие как сравнительно-географический и сравнительно-аналитический [6], профильно-генетический [7], а состав и свойства почв определялись по общепринятым методикам [1, 2]. Диагностика и классификация изучаемых почв осуществлялась в соответствии с критериями и принципами диагностики и классификации мерзлотных почв Якутии [3]. Численность культивируемых микроорганизмов определяли методом посева на селективные питательные среды [5]. Идентификацию грибов до родовой принадлежности проводили по определителю [4]. Общую численность микроорганизмов (ОЧМ) в исследуемых почвах определяли с выведением средних значений данных по численности микроорганизмов.

Изученные мерзлотные лесные почвы Центральной Якутии, формирующиеся на территории Якутского ботанического сада, различались между собой по морфологическому строению, физико-химическим свойствам и гранулометрическому составу, а также по численности и составу почвенных микроорганизмов. По результатам анализа данных по температуре и влажности исследованных почв, наиболее теплыми оказались палевая серая почва р. 8БС-18 и подзол иллювиально-железистый р. 11БС-18, где на глубине около 100 см температура (t) составляла 4.2–5.6 °С. Повышенной влажностью обладали мерзлотные почвы разрезов 1БС-18, 5БС-18 и 8БС-18, где влажность почвы достигала 17.0–18.8 %. Исследование физико-химических свойств показало, что реакция среды в исследованных почвах менялась от слабокислой (рН 5.6–6.2) в верхних почвенных горизонтах до щелочной в нижних (рН 8.8–9.0). Содержание гумуса в минеральных горизонтах данных почв – среднее и низкое, резкоубывающее, а количество общего азота – низкое и также резкоубывающее с глубиной.

Микробиологический анализ мерзлотных лесных почв ЯБС показал, что численность исследованных групп микроорганизмов варьировала от $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ до $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. Общая численность микроорганизмов в изучаемых мерзлотных лесных почвах

возрастала в ряду: подзол иллювиально-железистый → солодь → подзол иллювиально-гумусово-железистый → палевая серая → перегнойно-карбонатная. Наибольшее количество микроорганизмов по ОЧМ обнаружено в мерзлотных перегнойно-карбонатной и палевой серой почвах, образованных в результате дернового почвообразовательного процесса.

В зависимости от типов почв в их микробоценозах доминировали различные функциональные группы микроорганизмов: в перегнойно-карбонатной – актиномицеты (34 %), в палевой серой – мицелиальные грибы (29 %), в подзоле иллювиально-гумусово-железистом и подзоле иллювиально-железистом – мицелиальные грибы (34 % и 38 %), в солоди – актиномицеты (40 %). Преобладание тех или иных групп микроорганизмов зависело от химического состава почв, а также от особенностей их формирования. Только в солоди обнаружено максимальное количество аммонифицирующих бактерий, тогда как в остальных почвах доминировали мицелиальные микроорганизмы (актиномицеты и грибы). Солодь отличалась от остальных исследованных почв ЯБС более плотной структурой и выраженными процессами оглеения, что, по нашему мнению, ухудшало её аэрацию и водные свойства и способствовало снижению общей численности микроорганизмов, но в силу того, что по химическому составу в данной почве содержалось больше гумуса и азота, в микробоценозе преобладали аммонификаторы.

Таким образом, в микробоценозах исследуемых четырех из пяти типов почв, сформированных на рыхлых легких аллювиальных отложениях, доминировали мицелиальные микроорганизмы, а в микробоценозе солоди, развивающейся на лессовидных аллювиальных суглинках, преобладали аммонифицирующие бактерии.

Аэробные целлюлозолитические микроорганизмы были обнаружены в меньшем количестве ($5.2 \pm 0.5 \times 10^2 - 8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ КОЕ/г), больше всего их обнаружено также в перегнойно-карбонатной почве р. 5БС-18. Азотфиксаторы встречались только в перегнойно-карбонатной почве (98 %), в микробоценозах остальных почв азотфиксаторы не обнаружены. Мицелиальные грибы были представителями двумя доминирующими родами *Aspergillus* sp. и *Penicillium* sp.

По профилному распределению микроорганизмов отмечено, что исследуемые микроорганизмы были сконцентрированы в верхних органогенных горизонтах и с глубиной их численность падала. В верхних органогенных горизонтах четырех лесных почв (подзол иллювиально-гумусово-железистый, подзол иллювиально-железистый, перегнойно-карбонатная, палевая серая) преобладали мицелиальные грибы, а в солоди – аммонифицирующие бактерии.

Отмечено, что зависимость численности микроорганизмов от физико-химических параметров в различных типах почв проявлялась по-разному. Однако во всех исследуемых лесных почвах количество микроорганизмов следовало за изменениями температуры, содержания гумуса и азота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
2. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 272 с.
3. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: Якутский филиал СОАН СССР. 1987. 172 с.
4. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., 1. 1967. 303 с.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
6. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
7. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.

ДЕСТРУКЦИЯ ОПАДА РАСТЕНИЙ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (СРЕДНЕТАЕЖНАЯ ПОДЗОНА КАРЕЛИИ)

Медведева М.В.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, mariamed@mail.ru

Одним из направлений исследования круговорота углерода в его наземном цикле является изучение микробной трансформации органического вещества почв. Особенно это касается лесных почв, которые были вовлечены в сельскохозяйственное использование. На фоне антропогенного воздействия происходит полное нарушение природных ритмов поступления/минерализации органического вещества, изменение круговорота элементов-биофилов. Деструкция опада растений, поступающих в экосистему, также становится «триггером» формирования иного состава и функциональной активности микробиоты. Однако, на заброшенных землях, когда происходит снятие антропогенного воздействия, изменяются экологические условия, первичные факторы почвообразования. Почвы заброшенных территорий приобретают новые свойства, отличные от природных аналогов, и, как следствие, изменяется направленность трансформации органического вещества. Несмотря на то, что в настоящее время данных о влиянии смены землепользования на свойства почв много, вопросу о деструкции опада растений в почвах различных категорий землепользования уделяется мало внимания. В этой связи целью исследования было дать количественную оценку процессов трансформации органического вещества, а также изучить влияния различных факторов среды на данные процессы.

Исследование проводили в среднетаежной подзоне Карелии. В качестве модельного объекта были выбраны участки, образующие экоряд: пашня-сенокос-осинник разнотравный-молодой лес (ельник разнотравный, 65 лет) -старовозрастный лес (ельник черничный, 120 летний). Почвообразующая порода – морена супесчаная сильнокаменистая. Детальная характеристика почв приводится в работе (Дубровина, 2021). Экологические различия изучаемых участков были сведены к минимуму, что позволило корректно проводить сравнительный анализ полученных данных. На каждом участке методом «изоляции капроновых пакетов» проводили исследование скорости деструкции опада растений – важнейших почвообразователей. Определение углерода в отобранных образцах опада растений и экспонируемых в почве (1 год) были проведены на CNH-анализаторе. Также проводили анализ эколого-трофической структуры микробного сообщества почв для характеристики направленности трансформации органического вещества.

По скорости разложения опада растений их можно разделить на две группы. К первой группе относится опад растений, скорость минерализации которого составляет > 70 %. Появление опада данных растений в мортмассе может свидетельствовать о быстрой «оборачиваемости» углерода в педосфере, формировании благоприятных условий для микроорганизмов (к-стратегов). Ко второй группе относится опад растений, скорость минерализации которого составляет < 70 %. Присутствие опада этих растений свидетельствует о том, что в нем содержатся трудноминерализуемые углеродсодержащие соединения, продукты гидролиза которых могут оказывать ингибирующее влияние на микробиоту.

Разложение опада растений в почве происходит под действием микробиально-биохимических процессов и контролируется различными экологическими факторами, которые взаимосвязаны между собой. Одним из наиболее важных факторов является содержание органического вещества, которое может являться основой для формирования бактериального донор-акцепторного челнока, может поставлять энергетические эквиваленты для микроорганизмов, в целом, регулировать работу ферментов. Изменение эколого-трофической структуры микробного сообщества почв на фоне антропогенного воздействия (почвы пашни, сенокоса) свидетельствует о формировании иного пула микроорганизмов, репродуктивная стратегия популяции

которых направлена на освоение легкоминерализуемых компонентов органического вещества, более глубокой его минерализации. Микробные сообщества почв сельскохозяйственных угодий сохраняют группы, которые унаследованы от почв лесных сообществ.

На основе данных о скорости трансформации органического вещества возможно контролирование и регулирование процессом круговорота углерода на его начальных стадиях.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведева М.В., Мошкина Е.В., Геникова Н.В., Карпечко А.Ю., Туунен А.В., Мамай А.В., Дубровина И.А., Сидорова В.А., Толстогозлов О.В., Кулакова Л.М. Биологическая активность почвы в условиях изменения режима землепользования в Нечерноземной зоне России // Плодородие. № 3. 2022. С. 71–76. DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.19.

2. Dubrovina I.A., Moshkina E.V., Sidorova V.A., Tuunnen A.V., Karpechko A.Yu., Genikova N.V., Medvedeva M.V., Mamai A.V., Tolstoguzov O.V., Kulakova L.M. The Impact of Land Use on Soil Properties and Structure of Ecosystem Carbon Stocks in the Middle Taiga Subzone of Karelia // Eurasian Soil Science. Vol. 54, Is. 11. 2021. Pp. 1756–1769. DOI: 10.1134/S1064229321110053.

РОЛЬ ПОЧВЕННОЙ ФОТОТРОФНОЙ БИОТЫ В ЗАРАСТАНИИ ОГОЛЕННЫХ СУБСТРАТОВ (НА ПРИМЕРЕ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЛЕСНЫХ И ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ПОЧВ)

Новаковская И.В.¹, Патова Е.Н.¹, Сивков М.Д.¹, Дымов А.А.^{1,2}

¹ Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

² Факультет почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,
novakovskaya@ib.komisc.ru

Формирование оголенных субстратов, лишенных растительности, происходит под влиянием естественных процессов, а также в условиях интенсивного антропогенного воздействия. Восстановление таких экосистем идет с разной скоростью и зависит от комплекса экологических факторов, определяемых климатическими и эколого-географическими особенностями районов исследования. Важная роль в восстановлении почвенно-растительного покрова принадлежит фототрофной биоте, способной накапливать органическое вещество. Особое значение среди этих организмов имеют почвенные водоросли, которые одними из первых заселяют оголенные субстраты и создают условия для восстановления плодородия почв. Перспективно исследование закономерностей формирования сообществ водорослей и их участия в процессах зарастания голого грунта в разных природно-климатических зонах.

Цель исследования – выявление особенностей формирования сообществ водорослей в процессах зарастания оголенных субстратов в северных регионах на широтном градиенте.

Для сравнения процессов зарастания оголенных грунтов были выбраны почвы лесных ландшафтов (средняя тайга), нарушенные в результате сплошной рубки елового леса, и горно-тундровых (горная тундра) – в результате криогенных процессов. Отбор почвенно-альгологических образцов проводили в еловом лесу в окрестности г. Сыктывкар (Республика Коми) до рубки в сентябре 2020 г. и после – в мае и августе 2021–2022 гг. на волоках с разным количеством проездов лесозаготовительной техники и на пасеке. В 2019–2020 гг. пробы также были отобраны на двух пятнах, образованных в результате криогенных процессов, в пятнистых горных тундрах на северо-западном склоне горы Баркова (Приполярный Урал) и в 2022 г. – на трех пятнах в горно-тундровых сообществах заказника «Оченьрд» (западный

макросклон Полярного Урала). Видовое разнообразие водорослей определяли прямым микроскопированием свежесобранных почвенных образцов и с помощью накопительных и монокультур, выращенных на почвенной вытяжке, среде Bg11 и 3NBBM. Количественные показатели водорослей изучали прямым счетом клеток в свежесобранных образцах голого грунта. Исследование проводили на микроскопе Nikon Eclipse 80i при увеличении 100×.

Всего в почвах изученных лесных фитоценозов в контрольных (до рубки леса) и нарушенных условиях (после рубки леса в течении первого и второго года) было выявлено 44 вида водорослей из шести отделов: Cyanobacteria – 10, Euglenozoa – 1, Ochrophyta – 2, Bacillariophyta – 4, Chlorophyta – 25, Charophyta – 2. Доминантный комплекс видов представлен таксонами: *Anabaena* sp., *Aphanocapsa* sp., *Chlamydomonas* spp., *Eunotia* sp., *Hantzschia* sp., *Klebsormidium nitens*, *Leptolyngbya* sp., *Microchaete tenera*, *Navicula* sp., *Nostoc punctiforme*, *Pinnularia* spp., *Coccomyxa simplex*, *Stichococcus bacillaris*. В первый год после рубки леса наблюдается снижение видового разнообразия водорослей, отмечается заметный рост их численности и перестройка структуры сообществ. На второй год выявлено увеличение видового разнообразия этих организмов на всех исследованных участках, преимущественно за счет развития видов из отдела Cyanobacteria и Ochrophyta: *Aphanothece saxicola*, *Chloridella major*, *Gloeocapsopsis* sp., *Microcoleus autumnalis*, *Vischeria magna*. А также обнаружены новые виды зеленых водорослей: *Chlorococcum* sp., cf. *Chlorolobion braunii*, *Eubrownia aggregata*, *Interfilum terricola*. Эти виды в какой-то степени отражают изменение почвенных условий местообитания (увеличение влажности почвы и содержания азота) в результате трансформации напочвенного покрова. Важным показателем, который отображает перестройку альгогруппировок в условиях воздействия антропогенных факторов является динамика численности клеток водорослей. Среднее число клеток до рубки составляло 0.009 млн кл. в 1 г воздушно-сухой почвы, после рубки в первый год – 0.157 млн кл., во второй год – 1.497 млн кл. На пасеке количество клеток находится примерно в одном диапазоне с учетом ошибки (около 0.100 млн кл. 1 г воздушно-сухой почвы).

На исследованных пятнах в горно-тундровых сообществах Приполярного Урала выявлено – 46 видов: Cyanobacteria – 19, Ochrophyta – 1, Bacillariophyta – 2, Chlorophyta – 22, Charophyta – 2. Доминантный комплекс представлен таксонами: *Bracteacoccus minor*, *Chlamydocapsa* sp., *Coccomyxa simplex*, *Coelastrella oocystiformis*, *Elliptochloris subsphaerica*, *Fischerella muscicola*, *Myrmecia bisecta*, *Schizothrix fuscescens*, *Sporotetras polydermatica*, *Vischeria magna*. На пятнах Полярного Урала выявлено – 35 видов: Cyanobacteria – 13, Bacillariophyta – 2, Chlorophyta – 18, Charophyta – 2. Доминантный комплекс представлен: *Aphanocapsa muscicola*, *Chlamydomonas* spp., *Coccomyxa simplex*, *Elliptochloris subsphaerica*, *Nostoc commune*, *Pleurastrum terricola*, *Symplocastrum friesii*. Численность почвенных водорослей на пятнах в различных горно-тундровых сообществах Урала составила от 0.03 до 34.19 млн кл. в 1 г почвы. Основу альгоценозов формируют виды: Cyanobacteria – *Fischerella muscicola*, *Gloeocapsopsis magma*, *Nostoc commune*, *Schizothrix fuscescens*, *Scytonema hofmannii*, *Stigonema minutum*, *Symplocastrum friesii*; Chlorophyta – *Coccomyxa simplex*, *Elliptochloris bilobata*, *E. subsphaerica*, *Pleurastrum terricola*, *Sporotetras polydermatica*. Отмечены отличия по числу видов и таксономическому составу альгогруппировок для корочек, формирующихся на разных стадиях зарастания пятен (голые участки почвы – полностью лишенные растительности, а также участки – заросшие корочками серого и черного цвета). На участках голого грунта общая численность клеток в целом очень низкая. В основном здесь развиваются одноклеточные зеленые и охрофитовые водоросли (*Coccomyxa simplex*, *Vischeria magna*, виды из родов *Bracteacoccus*, *Elliptochloris*), а также диатомовые водоросли из родов *Navicula* и *Pinnularia*. Из цианобактерий – виды рода *Aphanocapsa*, *Tolypothrix tenuis* и *Symplocastrum friesii*. В более стабильных условиях на зарастающих участках из зеленых водорослей основу численности формировали – *Coccomyxa simplex*, *Elliptochloris bilobata*, *Pleurastrum terricola*, *Sporotetras polydermatica* и виды рода *Mesotaenium*. Среди цианобактерий – *Fischerella muscicola*, *Gloeocapsopsis magma*, *Nostoc commune*, *Schizothrix fuscescens*, *Stigonema minutum* и виды рода *Aphanocapsa*.

На примере лесных и горно-тундровых почв продемонстрировано, что при зарастании оголенных субстратов почвенными водорослями наблюдаются общие закономерности. На начальных этапах процессов самовосстановления отмечены рассеянные трудно различимые альгогруппировки, часто из нитчатых азотфиксирующих цианобактерий и одноклеточных водорослей. Их развитие постепенно приводит к формированию первичных биологических почвенных корочек, основу которых образуют цианобактерии с нитчатой и колониальной формой таллома. Встречаются также зеленые нитчатые водоросли и виды, с обильной колониальной слизью. Далее формируются биологические почвенные корочки с участием водорослей, образующих многотрихальные талломы и слизистые агрегаты. Идет частичное заселение биологических почвенных корочек протонемой мха, лишайниками и печеночниками. Специфика формирования альгогруппировок на разных типах оголенных субстратов имеет сходные тенденции. При этом на изменчивость видового состава оказывает влияние комплекс климатических и эколого-географических особенностей районов исследования, основные из них температурный режим и влажность почвы, тип растительного сообщества, степень трансформации почвенного покрова.

Работы выполнены в рамках ГБ тем ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600023-8 и № 122040600026-9, а также при частичной поддержке гранта РФФИ № 22-24-00673 <https://rscf.ru/project/22-24-00673/>.

АЗОТФИКСИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ЛЕСНЫХ ВЫРУБОК С РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЫ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Патова Е.Н., Сивков М.Д., Дымов А.А., Новаковская И.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми
научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар,
patova@ib.komisc.ru*

Почвенные водоросли являются важным функциональным компонентом почвенной биоты. Эти фототрофные микроорганизмы оказывают значимое влияние на физико-химические свойства почвы: участвуют в накоплении органического вещества и поступлении азота, регулируют гидрологический режим и структуру поверхностных горизонтов, влияют на микробиологическую активность и газовый режим и др. [2]. Особая роль принадлежит этой группе организмов в процессах зарастания почв и грунтов с нарушенным растительным покровом на начальных этапах восстановления почвенно-растительного покрова, в том числе и на лесных вырубках. Также в лесных экосистемах эпифитные водоросли и цианобактерии/цианофиты образуют ассоциации со мхами напочвенного покрова. В таких ассоциациях цианобактерии являются основной функциональной группой микроорганизмов, фиксирующей молекулярный азот из атмосферы. Известно, что фиксация азота цианобактериальными ассоциациями со мхами может иметь решающее значение для его накопления в лесных экосистемах и оказывать влияние на круговорот этого элемента в бореальных лесах [3].

Цель настоящего исследования – изучение разнообразия и роли, почвенных и ассоциированных со мхами цианобактерий в процессах освоения нарушенных почв в условиях разной степени нагрузки на напочвенный покров в результате сплошной рубки елового леса.

Отбор почвенно-альгологических образцов проводили в сентябре 2020 г. до вырубки елового леса, а также после его вырубки в мае и августе 2021, 2022 гг. на волоках с разным количеством проездов лесозаготовительной техники и на пасеке. Определения видового

разнообразия и количественных показателей цианобактерий на стационарных участках за вегетационный период. Изучена азотфиксирующая активность (N_2 -фиксация) цианобактерий обитающих в напочвенном покрове и ассоциированных со мхами *Hylocomium splendens* и сфагнового мха *Sphagnum* sp. Активность фиксации молекулярного азота (ARA) измеряли с помощью метода восстановления ацетилена [4].

Всего в исследованных лесных фитоценозах в контрольных и нарушенных условиях выявлено 10 видов, из них 5 diaзотрофы. Комплекс выявленных видов типичен для темнохвойных лесов, разнообразие азотфиксаторов на исследованном участке на данном этапе исследования можно оценить как невысокое, что в целом характерно для еловых лесов [1]. До вырубki на контрольных участках выявлено 7 видов, после рубок их разнообразие в напочвенном покрове при разной степени нагрузки на оголенных грунтах волоков составило от 2 до 5 видов, на участках пасеки 10 видов водорослей. При прямом микроскопировании на мхах и почве до вырубki и после рубки леса с высоким обилием отмечен азотфиксирующий вид цианобактерии *Nostoc punctiforme*, а также довольно часто были отмечены еще два азотфиксатора – *Microchaete tenera* и *Anabaena* sp., эти виды можно отнести к активно вегетирующим в почве. На контрольном участке до вырубki в верхнем горизонте отмечено 9.5 тыс. клеток водорослей и цианобактерий в 1 гр. почвы (тыс. кл $г^{-1}$). После вырубki леса численность водорослей на волоках увеличивается в 10 раз.

В большинстве исследованных проб, как в контрольных условиях, так и после рубки леса, была отмечена азотфиксирующая активность, что объясняется развитием на мхах и на поверхности оголенной почвы гереоцитных видов цианобактерий, способных фиксировать молекулярный азот. Между волоками с разной степенью нагрузки никаких различий не наблюдали, средние показатели фиксации за весенний период для корочек всех волоков – 0.088 ± 0.016 мг C_2H_4 $м^{-2}$ $ч^{-1}$. В моховом покрове скорости азотфиксации были выше, чем на оголенных грунтах. На контрольных участках в моховом покрове до рубки леса были отмечены максимальные показатели. Показатели фиксации азота для ассоциации цианобактерий со сфагновыми мхами до рубки леса достигали до 5.9 ± 1.5 мкг C_2H_4 $г^{-1}$ $ч^{-1}$. Для моховой дернины зеленого мха *Hylocomium splendens* средняя фиксация азота на этом виде мха была также достаточно высокой – 1.6 ± 0.6 мкг C_2H_4 $г^{-1}$ $ч^{-1}$. После рубки леса на пасеках в моховом покрове отмечено незначительное снижение азотфиксирующей активности. При этом состав азотфиксаторов и для зеленых и для сфагновых мхов почти не изменился. Для сфагновых мхов отмечено незначительное ($p = 0.089$, Манн-Уитни тест) снижение фиксации относительно контрольных значений до 4.23 ± 0.86 мкг C_2H_4 $г^{-1}$ $ч^{-1}$. Для дерновины с доминированием *Hylocomium splendens* фиксация азота снизилась до 1.3 ± 0.3 мкг C_2H_4 $г^{-1}$ $ч^{-1}$, что также недостоверно ($p = 0.124$) ниже фоновых значений.

До вырубki елового леса в напочвенном покрове отмечено невысокое видовое разнообразие и численность почвенных водорослей. Сплошная рубка леса приводит к резкой смене экологических условий местообитания, что сказывается на водорослевых сообществах почв и мохового покрова елового леса. Наблюдается снижение видового разнообразия водорослей, перестройка структуры сообществ, заметный рост численности водорослей и цианобактерий. Увеличение их численности на всех исследованных участках, с трансформированным после рубки леса напочвенным покровом (волока и пасека), свидетельствует о запуске процессов самовосстановления почвенной биоты. Показано, что уже на начальных этапах восстановления растительного покрова наблюдается интенсивное развитие фототрофных микроорганизмов, обеспечивающих поступление органических веществ и обогащение почвы азотом (фиксированного цианобактериями из атмосферы). Большинство исследованных показателей развития почвенных альгогруппировок зависит от степени трансформации почвенного покрова (количества проходов тяжелой техники). На грунтах, возникших после проезда лесозаготовительной техники, идет формирование почвенных корочек, в состав которых входят фиксирующие азот цианобактерии. Разнообразие азотфиксаторов контрольных участков

(до рубки леса) и после нарушения напочвенного покрова остается неизменным. Исследования показали, что уже в конце первого сезона после рубки леса, на нарушенных почвах идет формирование почвенных корочек с доминированием цианобактерий, которые фиксировали азот со скоростями, соразмерными с азотфиксирующей активностью ассоциаций цианобактерий и мхов в фоновом еловом лесу.

Работы выполнены в рамках ГБ тем ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600023-8 и № 122040600026-9.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Новаковская И.В., Патова Е.Н.* Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар, 2011. 128 с.
2. *Штина Э.А., Голлербах М.М.* Экология почвенных водорослей М., 1976. 144 с.
3. *Ininbergs K., Bay G., Rasmussen U., Wardle D.A., Nilsson M.C.* Composition and diversity of nifH genes of nitrogen-fixing cyanobacteria associated with boreal forest feather mosses. *New Phytologist*, 2011. V. 192. P. 507–517.
4. *Stewart W.D.* In situ studies on N₂ fixation using the acetylene reduction technique / W.D. Stewart, Fitchner, R.H. Burris // *Proceed. N. Acad Sci USA*, 1967. V. 58. P. 2071–2078.

ДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ХОДЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ВЫРУБКАХ

**Перминова Е.М., Ковалева В.А., Виноградова Ю.А.,
Лиханова И.А., Холопов Ю.В., Лаптева Е.М.**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, perminova_83@mail.ru

Сплошно-лесосечные рубки – основной фактор негативного воздействия на таёжные экосистемы. Сведение древесной растительности и использование тяжелой лесозаготовительной техники значительно влияют на изменение светового и гидротермического режимов территории [1], а также качество и количество ежегодно образующегося опада [2]. Это приводит к глубоким перестройкам в структуре почвенного покрова и проявляется в изменении морфологических, физико-химических и биологических параметров почв [3; 4]. Показатели функционирования почвенно-биологического комплекса широко используются в эколого-диагностических исследованиях и оценке качества почвы [5], в том числе и при исследовании почв в процессе естественного лесовозобновления [4; 6].

Цель настоящего исследования – выявление закономерностей изменения характеристик микробного сообщества подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления на вырубках еловых лесов средней тайги Республики Коми.

Исследования проводили на четырех участках разновозрастных фитоценозов, детальная характеристика которых приведена в таблице и ранее опубликованных работах [1; 2; 3]. На вырубках для исследований использовали пасечные участки лесосеки.

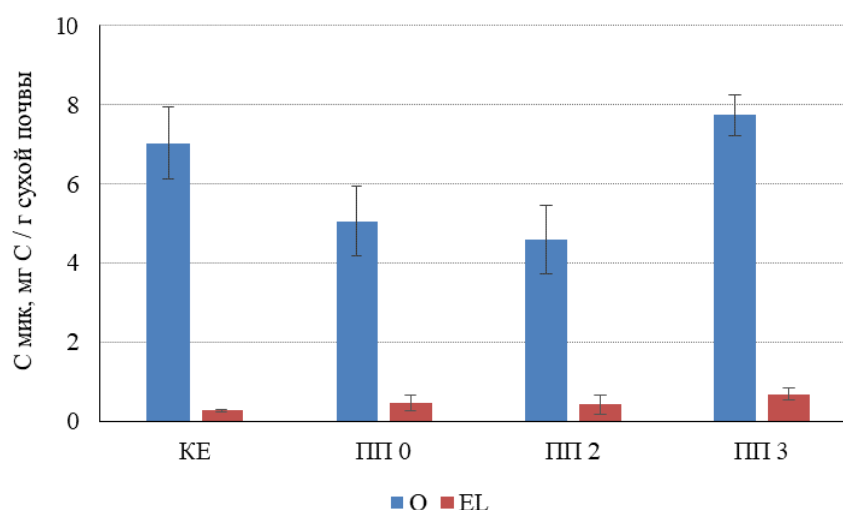
Отбор проб для проведения микробиологических исследований производили в июле 2020 г. на всю глубину органогенного горизонта (лесная подстилка) и нижележащей минеральной части (на глубину до 10 см) в 10-кратной повторности с сохранением условий стерильности. Для оценки микробиологической активности исследуемых почв использовали показатели базального (БД) и субстрат-индуцированного (СИД) дыхания с последующим расчетом величины углерода микробной биомассы (Смик), являющихся индикаторами общей активности гетеротрофных микроорганизмов.

Характеристика объектов исследования

Показатель	Участок			
	Коренной ельник (КЕ)	ПП 0	ПП 2	ПП 3
Тип рубки	–	Зимняя сплошнолесосечная, Харвестер + Форвардер	Зимняя сплошнолесосечная, Харвестер + Форвардер	Зимняя сплошнолесосечная, трактор ТДТ-40, хлыстовая трелевка
Год рубки	–	2017–2018 гг.	2001–2002 гг.	1969–1970 гг.
Растительное сообщество	Ельник мелкотравно-чернично-зеленомошный	Вырубка осоково-чернично-зеленомошная	Елово-березовый молодой лес разнотравно-зеленомошный	Елово-березовый лес мелкотравно-чернично-зеленомошный
Возраст древостоя	60–230 лет	1–2 года	18–19 лет	50–51 год
Тип почвы по классификации России 2004	Подзолистая с микропрофилем подзола	Подзолистая с микропрофилем подзола*		

Примечание: *До проведения рубки.

Содержание Смк в почве исследуемых участков представлено на рисунке. В первые годы после проведения рубки Смк подстилки снижается в 1.3 и 1.5 на участках ПП 0 и ПП 2 соответственно. К моменту развития спелого елово-березового леса Смк возрастает и принимает значения, близкие к таковым в почве коренного леса. В минеральных, элювиальных (EL) горизонтах почв отмечено резкое снижение Смк относительно органогенных горизонтов. Самыми низкими значениями Смк характеризуется горизонт EL коренного леса: по сравнению с лесной подстилкой его величина снижена в 26.2 раз. На участках проведения рубок ПП 0, ПП 2, ПП 3 снижение углерода микробной биомассы в минеральных горизонтах относительно горизонта лесной подстилки в среднем составило соответственно 8.9, 8.1 и 13.4 раз. В процессе развития древостоя на участках естественного лесовозобновления наблюдается тенденция увеличения Смк в элювиальных горизонтах минеральной части профиля почв.



Величина углерода микробной биомассы (Смк) в органогенных (О) и минеральных (EL) горизонтах почв исследованных участков. Обозначения участков даны как в таблице

Наибольшими показателями БД также характеризуется органогенный горизонт коренного ельника, где данная величина составила 40.9 ± 5.8 мкг С-СО₂ / г сухой почвы в час, наименьшая величина – 27.4 ± 4.3 мкг С-СО₂ / г сухой почвы в час характерна для органогенного

горизонта участка ПП 0. Величины БД на участках ПП 2 и ПП 3 разнятся незначительно и занимают промежуточные значения – соответственно 30.1 ± 4.9 и 29.0 ± 2.9 мкг С-СО₂ / г сухой почвы в час. Они достоверно ниже данного показателя, полученного при исследовании почвы коренного ельника. В минеральной части всех рассмотренных объектов наблюдается многократное снижение величины БД. Так, в коренном ельнике скорость БД в элювиальном горизонте снижена относительно органогенного горизонта в 46 раз и составляет 0.89 ± 0.24 мкг С-СО₂ / г сухой почвы в час. На участках ПП 0, ПП 2 и ПП 3 его величины – 4.14 ± 1.22 , 2.60 ± 1.42 и 3.20 ± 1.11 соответственно.

Расчет запасов углерода микробной биомассы в органогенных горизонтах почвы контрольного участка и разновозрастных вырубок показал их снижение на участках после рубочных сукцессий. В коренном ельнике запасы С мик 40.6 ± 14.5 г С/м², в лесных подстилках участков ПП 0, ПП 2 и ПП 3 соответственно 33.7 ± 9.0 г С/м², 25.9 ± 17.2 г С/м², 36.5 ± 7.8 г С/м².

Таким образом, нами определены некоторые функциональные параметры почвенных микробных сообществ фитоценозов, находящихся на различных этапах сукцессионного развития после сплошнолесосечных рубок еловых лесов в подзоне средней тайги. Установлено снижение величины углерода микробной биомассы в органогенных горизонтах подзолистых почв на ранних этапах послерубочных сукцессий. На поздних этапах (к моменту развития спелого елово-березового древостоя) отмечено возрастание данного параметра до значений коренного елового леса. Однако по запасам углерода микробной биомассы органогенные горизонты почв на всех стадиях естественного лесовозобновления на вырубках в 1.2–1.6 раза ниже по сравнению с почвой коренного елового леса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымов А.А., Старцев В.В. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошнолесосечных рубок // Почвоведение. 2016. № 5. С. 599–608.
2. Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // Лесное хозяйство. 2012. № 3. С. 7–18.
3. Лантева Е.М., Втюрин Г.М., Бобкова К.С., Каверин Д.А., Дымов А.А., Симонов Г.А. Изменение почв и почвенного покрова // Сибирский лесной журнал. 2015. № 5. С. 64–76.
4. Богородская А.В., Шишкин А.С. Динамика микробной биомассы, её структура и функциональная активность в почвах при лесовозобновлении на вырубках пихтарников Енисейского края // Почвоведение. 2020. № 1. С. 119–130.
5. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного фед. университета, 2016. 356 с.
6. Jourgholamia M., Ghassemia T., Labelleb E.R. Soil physio-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation // Ecological Indicators. 2019. N 101. P. 102–110.

ЭНЗИМОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЕСНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Порохина Е.В., Инишева Л.И., Лобанова Е.А.

*Томский государственный педагогический университет, Томск,
porohkatrin@yandex.ru*

Торфяные болота – это одновременно элемент ландшафта, гидрологические объекты, сельскохозяйственные и лесные угодья, производственный ресурс. Заторфованность территории России различается, при этом наибольшая заторфованность характерна для Западно-Сибирской равнины, достигая 14 % [1]. Торфяные почвы привлекают внимание своеобразными условиями образования, развития, а также накоплением огромного количества

органического вещества. Одним из информативных показателей функционирования лесных торфяных почв является биологическая активность, которая характеризует интенсивность и направленность преобразования органического вещества торфа. Значительная часть окислительно-восстановительных процессов в торфяных почвах с участием органических веществ катализируется ферментами класса оксидоредуктаз, в том числе таких, как каталаза, полифенолоксидаза и пероксидаза.

В качестве объектов исследования были выбраны лесные торфяные почвы двух пунктов наблюдений (П2 и П3) на территории олиготрофного болота (Томская область, Бакчарский район). Природные условия территории исследований приведены в [2]. Сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз с высокой сосной (П2) представляет собой окраину болота. Торфяные почвы П2 мощностью 90 см сформированы практически полностью, за исключением верхнего слоя 0–25 см, переходным древесно-пушицевым видом торфа со средней и высокой степенью разложения. Торфяные почвы П3 (сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз с низкой сосной) имеют мощность 3 м и до глубины 2 м образованы торфами олиготрофного типа. И только нижний придонный слой представлен эвтрофным осоковым видом торфа.

С целью изучения энзимологической активности 3 раза за теплый период с помощью бура ТБГ 1 отбирали образцы торфяной почвы в соответствии с ботаническим составом. Из ферментов в почвах определяли каталазную активность газометрическим методом, полифенолоксидазную и пероксидазную активность по соответствующим методикам [3, 4].

Активность каталазы, как полагают исследователи, связана с общей численностью и деятельностью основных групп микроорганизмов в почве. Выявлено, что среди изучаемых пунктов наблюдений большей общей каталазной активностью отличаются торфяные почвы П2 (в среднем $7,11 \text{ O}_2 / \text{г} \cdot 2 \text{ мин}$ (далее ед.)), по сравнению с почвами П3, где в среднем общая каталазная активность составляет 3,72 ед. В П2 максимальное проявление активности фермента отмечается в верхней части торфяного профиля (0–50 см), наиболее контрастной по гидротермическим и окислительно-восстановительным условиям.

Известно, что показателем интенсивности процессов гумификации разлагающихся в торфяных залежах органических соединений, является активность ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы. Активность полифенолоксидазы (ПФО) в торфяных почвах изменяется в небольших пределах (0,00–2,15 мг 1,4-бензохинона / г·30 мин) и характеризуется как невысокая. В целом результаты исследований согласуются с показателями активности ПФО в олиготрофных болотах Западной Сибири [5]. По мере того, как меняется химический состав ОВ торфов в процессе торфообразования, увеличивается содержание гуминовых кислот, а также повышение их конденсированности, активность ПФО возрастает. Так, в более древних слоях, сформированных переходными и низинными видами торфа, зафиксированы максимальные показатели ПФО, что особенно явно прослеживается на примере П3, где активность фермента увеличивается с глубиной в среднем в 2–3 раза. При этом следует отметить отсутствие ингибирующего эффекта высокой влагонасыщенности и низкой аэрации торфяных почв П3 на активность полифенолоксидазы на глубине более двух метров, которая, как известно, активно функционирует в аэробных условиях. Возможно, в процесс окисления фенольных соединений под влиянием полифенолоксидазы, вовлекается кислород воздуха, как образовавшийся в ходе биохимических реакций, так и растворенный в болотной воде. Полагают, что в торфяных почвах формируется микро мозаичность аэробно-анаэробных условий, вследствие их специфической структуры.

Активность пероксидазы (ПДО) изменяется в торфяных почвах ПП. 2 и 3 в пределах 1,53–27,48 мг 1,4-бензохинона / г·30 мин. С глубиной, по мере развития восстановительных условий, повышения содержания трудногидролизующихся соединений и гуминовых кислот, она увеличивается в 2–5 раз. Такую же закономерность в распределении активности ПДО в аналогичных болотах олиготрофного типа фиксировали ранее и другие исследователи [6]. Более выражена сезонная динамика ПДО в торфяных почвах П2, где прослеживается весенний максимум фермента в слое 0–50 см. В целом следует отметить, что активность ферментов

ПФО и ПДО выше в верхнем слое (0–50 см) торфяных почв П2 в среднем в 2–3 раза, по сравнению с аналогичным слоем в П3.

Таким образом, биохимические процессы активно осуществляются по всему торфяному профилю как маломощного (сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз с высокой сосной, П2), так и глубоководного пунктов (сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз с низкой сосной, П3), что обусловлено разными факторами, в том числе и присутствием в переувлажненной нижней части торфяного профиля кислорода. Более высокими показателями каталазы, полифенолоксидазы и пероксидазы характеризуются почвы пункта 2. Процессы гумификации в торфяных почвах П2 и П3 интенсивнее протекают в нижней части торфяного профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России / Под общей ред. чл.-корр. РАСХН Л.И. Инишевой. Томск: ЦНТИ, 2005. 76 с.
2. Закономерности функционирования болотных экосистем в условиях воздействия природных и антропогенных факторов. Томск: Издательство ТГПУ, 2020. 482 с.
3. Круглов Ю.В., Пароменская Л.Н. Модификация газометрического метода определения каталазной активности // Почвоведение. 1966. № 1. С. 93–95.
4. Карягина Л.А., Михайлоуская Н.А. Вызначенне актынасці поліфенолаксидазы і пераксидазы у глебе // Весцы АН БССР. Сер. сельска гаспадаргных навук. 1986. № 2. С. 40–41.
5. Савичева О.Г., Инишева Л.И. Ферментативная активность торфяных почв // Сибирский экологический журнал. 2000. № 5. С. 607–614.
6. Szajdak L.W., Gaca W., Styła K., Meysner T. Changes of enzyme activities in peat profile of Kusowo bog // Necessity of peatlands protection. Poznan, 2012. P. 47–60.

ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МАКРОФАУНЫ ПОЧВ ПОЛИГОНОВ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

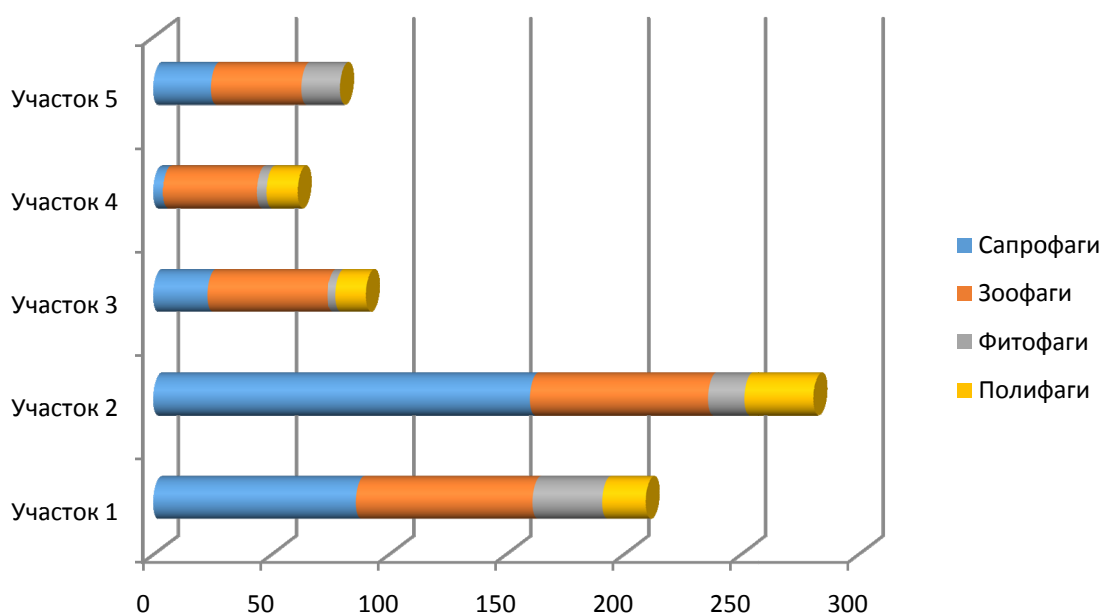
Пятина Е.В.

ЦМП им. В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»,
Санкт-Петербург, kat1977kat@gmail.com

Важным компонентом педоценозов является макропедофауна, функционирование которой связано с лесорастительными свойствами и продуктивностью биогеоценозов. Исследование трофической структуры макрофауны почв проведено в рамках выявления особенностей фауны полигонов долгосрочного почвенно-экологического мониторинга (ППЭМ) лесных экосистем таежной зоны, расположенных в типичных для Ленинградской области биоценозах регионального комплексного заказника «Лисинский» [1]. Почвенно-зоологические исследования проводились по стандартной методике ручной разборки проб на пяти участках ППЭМ, отличающихся между собой гидротермическим и трофическим почвенными режимами, а так же антропогенной нагрузкой (осушение).

Почва первого участка дерново-подзолистая, сформированная на моренных суглинках под ельником кисличником зеленомошным. Почвы остальных участков сформированы на ленточных глинах. Второй участок расположен в осиновом лесу с елью и березой, на дерново-подзолистой типичной почве. Третий – в ельнике черничнике, произрастающего на дерново-элювиально-метаморфической почве. Четвертый участок расположен в сосняке зеленомошно-сфагновом на торфяно-элювиально-метаморфической почве, где более 40 лет назад проведена осушительная мелиорация. Почва пятого участка дерново-элювиально-метаморфическая глееватая под елово-сосновом лесом.

Трофическая структура макропедофауны исследованных площадок ППЭМ представлена сапрофагами, зоофагами, фитофагами и полифагами (рис.).



Трофическая структура макрофауны почв полигонов почвенно-экологического мониторинга (Ленинградская область) (экз./м²)

Анализ соотношения степени участия основных трофических групп (сапрофаги и зоофаги) к общей численности, показал расположение участков следующим образом:

- по уменьшению доли участия сапроблока в структуре фауны № 2 (57 %) – № 1 (41 %) – № 5 (30 %) – № 3 (25 %) – № 4 (6,5 %);
- по увеличению доли участия блока зоофагов № 2 (27 %) – № 1 (36 %) – 5 (43,8 %) – № 3 (57 %) – № 4 (65 %).

Высокая плотность хищников, низкая численность и разнообразие сапрофагов, по сравнению с другими группами макрофауны, является характерной чертой заболоченных биотопов. В то же время низкая численность и разнообразие сапрофагов осушенного участка (№ 4) объясняется сильным иссушением верхнего 5–10 см органогенного слоя и антифунгальными, антибактериальными свойствами бактериальных эндофитов сфагнума [2].

Таким образом, анализ трофической структуры показал, что доля сапрофагов превалирует над зоофагами на участках с наиболее оптимальными гидротермическими условиями. Переувлажнение и переосушение приводит к доминированию зоофагов. Соотношение доли сапрофагов к зоофагам служит индикатором водного режима почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полигоны почвенно-экологического мониторинга экосистем таежной зоны: учебное пособие для вузов / Б.Ф. Апарин, Б.В. Бабилов, Г.А. Касаткина и др. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 140 с.
2. *Shcherbakov A.V, Muntyan A.N.* (eds.) Endophytic bacteria of Sphagnum mosses as promising objects of agricultural microbiology // *Microbiology*. 2013. 82 (3). P. 312–322.

ВКЛАД МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ И МЕЗОФАУНЫ В ПУЛ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА СРЕДНЕТАЕЖНОГО СОСНЯКА КИСЛИЧНО-ЧЕРНИЧНОГО

Сараева А.К., Мамай А.В., Мошкина Е.В.

*Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск,
saraeva68@inbox.ru*

Комплекс почвенных микроорганизмов определяет интенсивность процессов минерализации поступающего органического вещества, круговорота питательных элементов и потоки энергии. Важную роль в функционировании микробного комплекса играет почвенная фауна. Большой интерес представляет почвенная мезофауна, которая в основном состоит из микроартропод, принадлежащих к подклассам Acari и Collembola, населяющих верхние горизонты почвы и, несмотря на их низкую эффективность ассимиляции (менее 10 %), оказывает значительное опосредованное влияние на разложение органического вещества почвы [7, 5]. Мезофауна своими трофическими отношениями способствует эдафическому функционированию через процессы фрагментации органического вещества, динамику круговорота питательных веществ, регуляцию численности микрофлоры и мезофауны, влияющих на первичную продукцию. Первичные потребители (например, бактерии, грибы и археи) действуют как трофический «фундамент» для всего почвенного сообщества [6, 8]. Сведения о содержании углерода в биомассе почвенной мезофауны малочисленны и требуют уточнения для оценки пула почвенного углерода. Микробный же углерод составляет от десятых долей процента до десятков процентов в общем пуле органического углерода почв [3]. Главными микробиологическими индикаторами процессов цикла углерода в почве выступают углерод микробной биомассы (Смик) и базальное дыхание [1, 2]. Смик является наиболее активной и динамичной частью почвенного органического вещества и может быть использован, как показатель для оценки продуктивности экосистем и доступности почвенного органического углерода для растений и микроорганизмов [1]. Параметры микробной биомассы и мезофауны почв необходимы для оценки интенсивности пулов и потоков углерода наземных экосистем на региональном уровне.

С целью уточнения количественных показателей почвенного пула углерода проведена оценка содержания углерода микробной биомассы и биомассы микроартропод (клещей, коллембол и других представителей мезофауны) в наиболее биологически активном почвообитаемом слое. Исследования проводились в среднетаежной подзоне Республики Карелии в сосняке кислично-черничном (10С + Е + Б), возрастом 110–130 лет, II. 7 класса бонитета. Почва – подбур грубогумусированный сильнокаменистый на супесчаной морене. Для определения общей численности и биомассы почвенной мезофауны и их взаимосвязи с микробной биомассой почвы в июле 2022 года были отобраны почвенные пробы, состоящие из лесной подстилки и верхнего слоя минерального горизонта почв. Образцы отбирали из 15 точек с учетом зоны фитогенного поля дерева (ФПД) – «ствол», «крона», межкрупное пространство «окно».

Содержание углерода микробной биомассы (Смик) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания [4] с последующим расчетом запасов микробного углерода в почвообитаемом слое. Материал для измерения численности и биомассы почвенной фауны разбирали под биноклем с сортировкой по группам (клещи, коллемболы и прочие). После подсчета численности высушивали при 22 °С в течение 7 суток. Сухие пробы взвешивали (Электронные микровесы BM-20G от A&D (AND) (Япония), точностью до 1 мкг). Содержание углерода в телах коллембол определяли на анализаторе элементов Flash 1112 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA (Оборудование Центра коллективного пользования ИПЭЭ РАН)).

Проведенное исследование позволило установить, что плотность населения коллембол варьировала от 9 до 77 экз. $\cdot 10^3/\text{м}^2$; клещей 37 до 292 экз. $\cdot 10^3/\text{м}^2$; прочих микроартропод 3–14 экз. $\cdot 10^3/\text{м}^2$. В зависимости от фитогенного поля дерева численность коллембол возрастала в ряду: ствол – крона – межкрупное пространство; наибольшая численность населения клещей и прочих микроартропод отмечалась в образцах, отобранных под кроной деревьев. Распределение биомассы почвенной мезофауны в зависимости от зоны ФПД изменялась несколько иначе, чем их численность. Так, наибольшая биомасса коллембол и клещей была приурочена к кроновому пространству и составляет 835 и 1392 мг/м², соответственно; тогда как максимальная биомасса прочих микроартропод (1037 мг/м²) наблюдалась в зоне приствольного возвышения. Тенденция распределения микробной биомассы относительно зоны ФПД соответствовала распределению биомассы коллембол ($r = 0.74$) и клещей ($r = 0.90$). Максимальные запасы Смик (42 г/м²) и интенсивности микробного продуцирования CO₂ (5,3 г/м² сут) почвообитаемого слоя были отмечены в подкрупновом пространстве, коррелировали между собой ($r = 0.94$) и с содержанием органического углерода ($r = 0,8-0,9$).

Содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) составило 1–3 % от общего количества углерода. Доля углерода мезофауны варьировала от 0,02 до 0,08 % почвенного углерода. Пересчет биомассы микроартропод (клещи, коллемболы и прочие) на углерод производилась на основе данных о содержании углерода в телах коллембол, которое в среднем составляло 51 % (\pm SD 6,4). Отмечена высокая корреляция средних значений ($r = 0.98$) вклада углерода микроорганизмов и мезофауны в пул органического углерода почвы.

Результаты исследования по количественной оценке компонентов деструкционной ветви цикла углерода позволят уточнить баланс углерода лесных экосистем и могут быть использованы для прогнозных оценок потоков углерода на региональном уровне.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева Н.Д., Сушко С.В., Иващенко К.В., Васнев В.И. Микробное дыхание почв подтайги и лесостепи европейской части России: полевой и лабораторный подходы // Почвоведение. 2020, № 10. С. 1276–1286.
2. Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение. 2022, № 2. С. 1–16.
3. Стольникова Е.В., Ананьева Н.Д., Чернова О.В. Микробная биомасса, ее активность и структура в почвах старовозрастных лесов европейской территории России // Почвоведение. 2011, № 4. С. 479–494.
4. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10, N 3. P. 215–221.
5. Andre H.M., Ducarme X., Lebrun P. Soil biodiversity: myth, reality or conning? // Oikos. 2002. Vol. 96, N 1. P. 3–24.
6. Coleman D.C., Crossley D.A., Hendrix P.F. Fundamentals of Soil Ecology, 2nd edn. // Elsevier Academic Press, 2004, 408 pp.
7. Petersen H., Luxton M.A. Comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes // Oikos. 1982. Vol. 39, N 3. P. 288–388.
8. Wang Q., Zhong M., Wang S. A meta-analysis on the response of microbial biomass, dissolved organic matter, respiration, and N mineralization in mineral soil to fire in forest ecosystems // Forest Ecol. Manag. 2012, N 271. P. 91–97.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ПОЧВ ВЫРУБОК

Севергина Д.А.¹, Гродницкая И.Д.², Пашкеева О.Э.², Дымов А.А.^{1,3}

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, severgina.darja@gmail.com

² Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск

³ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Лесозаготовительные мероприятия оказывают значительное влияние на лесные экосистемы, влияя напрямую на изменение структурной организации таёжных биоценозов и естественных потоков вещества в них. В последние два десятилетия в Республике Коми активно внедряется лесозаготовительная техника на колёсном ходу, представленная парами харвестер-форвардер. На вырубках отмечается множество механических нарушений, расположенных в основном на волоках [2]. Микробная биомасса почвы является более чувствительной к различным воздействиям и нарушениям, поэтому она рассматривается как индикатор ранних изменений почвенного органического вещества [3].

Основная задача нашего исследования состояла в оценке микробиологической активности среднетаежных подзолистых почв молодой вырубки при разной интенсивности воздействия колесной лесозаготовительной техники в первые два года.

Для проведения эксперимента весной 2020 года был подобран участок ельника чернично-зеленомошного. В течение вегетационного периода, с июня по сентябрь, на территории отбирались почвенные образцы. По морфологическим признакам исходная почва была диагностирована как типичная подзолистая. В декабре на данной территории была проведена рубка леса. После рубки было заложено 4 почвенных участка с разной степенью воздействия тяжёлой лесозаготовительной техники: пасечный участок лесосеки (пасека), с тремя проходами форвардера (3П), с десятью проходами (10П) и с десятью проходами (10Р) с последующим выравниванием. Подробно объекты описаны нами ранее [2].

В общей сложности было проанализировано 72 образца, отобранных на глубине до 20 см. В каждом образце методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) на газовом хроматографе определялись базальное дыхание и микробная биомасса [1].

Полученные значения микробной биомассы и базального дыхания на исходном участке леса сильно различались в течение всего вегетационного периода. Отмечаются довольно высокие значения в лесных подстилках, которые с глубиной закономерно убывают. Это связано с тем, что в процессе дыхания участвуют не только микроорганизмы, но живые мхи и растительные остатки, которые способствуют увеличению почвенного дыхания. Причём, в горизонте O(L) идёт накопление микробной биомассы к концу вегетационного периода и достигает значения 1232.6 мкг С/г почвы. В горизонте O(F) наблюдается обратная ситуация: больше всего микробной биомассы отмечается в июне, 817.9 мкг С/г почвы, а в последующие месяцы убывает до 404.3 мкг С/г почвы. В сентябре наблюдается увеличение до 662.3 мкг С/г почвы, что, скорее всего, связано с поступлением в конце вегетационного периода растительных остатков в почву. В верхнем минеральном горизонте (EL) отмечено низкое содержание микробной биомассы – до 34.9 мкг С/г почвы. Базальное дыхание на исходных участках леса в лесной подстилке варьируется от 6.0 до 41.5 мкг С-СО₂ / (ч г). В элювиальном горизонте оно находится в пределах от 0.3 до 3.1 мкг С-СО₂ / (ч г). На пасечном участке наибольшие изменения наблюдаются в органогенных горизонтах почвы. В первый год после рубки микробная биомасса верхнего подстилочного горизонта была больше в 1.5–2 раза по сравнению с исходным участком леса. Во второй год в начале вегетационного периода она также больше в 2–7 раз. Однако в августе и сентябре значения выравниваются, приближаются к начальным и составляют от 410.1 до 949.6 мкг С/г почвы. После вырубки в горизонтах O(F) и O(H) отмечено резкое снижение биомассы с максимальным значением в сентябре

(389.6 мкг С/г почвы). На второй год биомасса в этих же горизонтах варьируется от 162.6 до 400.1 мкг С/г почвы. Это можно объяснить изменением микроклимата после рубки и его последующей стабилизацией. При этом стоит отметить, что базальное дыхание на протяжении двух лет находится в тех же пределах, что и 2020 году (органогенные горизонты от 5.9 до 69.3 мкг С-СО₂ / (ч г), в минеральном – от 0.1 до 2,7 мкг С-СО₂ / (ч г)). Иначе обстоит дело на участках волоков. На волоке с тремя проходами в первый год количество микробной биомассы в подстилочных горизонтах уменьшилось от двух до девяти с половиной раз по сравнению со значениями на контрольном участке леса. На второй год в июне микробная биомасса возрастает почти в два раза и составляет 441.6 мкг С/г почвы. Вероятно, это связано с тем, что при прохождении форвардера, почва была уплотнена. В минеральном горизонте в течение двух лет не наблюдается существенных изменений. Микробная биомасса варьирует от 4.2 до 39.7 мкг С/г почвы. Базальное дыхание за анализируемый период уменьшается и составляет в лесной подстилке от 9.4 до 32.4 мкг С-СО₂ / (ч г), а в элювиальном горизонте – от 0.5 до 2.4 мкг С-СО₂ / (ч г). На протяжении двух лет после рубки содержание микробной биомассы на волоке с десятью проходами сравнимо со значением микробной биомассы в верхнем минеральном горизонте исходного участка леса. Выбывающееся значение микробной биомассы в сентябре (203.8 мкг С/г почвы) в первый год, скорее всего, связано с тем, что в конце вегетационного периода идёт разложение оставшихся после рубки порубочных остатков. Базальное дыхание в первый год после рубки возрастает – до 15.5 мкг С-СО₂ / (ч г). В последующий год приходит в норму и варьирует от 0.6 до 2.8 мкг С-СО₂ / (ч г). На участке 10Р значения микробной биомассы и базального дыхания в первый год после рубки очень низкие. Вероятнее всего, это происходит из-за того, что верхний почвенный слой и лесная подстилка полностью удаляются и количество микроорганизмов в минеральном слое из-за недостатка органики существенно снижается. В 2022 году на этом же участке отмечается прирост микробной биомассы практически в два раза (17.4 до 58.7 мкг С/г почвы), по сравнению с элювиальным горизонтом исходного участка леса. Базальное дыхание находится в пределах от 0.3 до 3.7 мкг С-СО₂ / (ч г), что соответствует значениям контрольного участка.

Исходя из полученных данных, следует, что функционирование микробных сообществ почвы исследованных участков нарушено вследствие повреждения лесозаготовительной техникой. На пасечном участке наибольшие изменения наблюдаются в органогенных горизонтах. На второй год показатели выравниваются и приближаются к исходным значениям, что, скорее всего, связано с установлением относительно стабильных параметров микроклимата и поступлением в почву органических веществ. На волоке с тремя проходами содержание микробной биомассы остается низким в связи с наблюдаемой трансформацией лесной подстилки. Максимальные изменения микробной биомассы наблюдаются на турбированных участках. Базальное дыхание почвы связано с микробной биомассой и отражает ее состояние.

Работы выполнены в рамках темы НИР № 122040600023-8 «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука. 2003. 222 с.
2. Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Севергина Д.А., Кутявин И.Н., Осипов А.Ф., Дубровский Ю.А. Изменение почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, республика Коми) // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1426–1441.
3. Гродницкая И.Д., Карпенко Л.В., Пашикева О.Э., Гончарова Н.Н., Старцев В.В., Батурина О.А., Дымов А.А. Влияние лесных пожаров на микробиологические свойства торфяных олиготрофных почв и торфяно-подзолов глеевых в болотах северной части Сым-Дубчесского междуречья (Красноярский край) // Почвоведение. 2022. № 4. С. 454–468.

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР *PINUS SP.* В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЕННЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ЗОНЕ ШИРИНСКОЙ СТЕПИ

Сенашова В.А.¹, Гродницкая И.Д.¹, Сорокина О.А.², Антонов Г.И.¹

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

² ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Красноярск,

vera0612@mail.ru, igrod@ksc.krasn.ru, geos0412@mail.ru, egoan@yandex.ru

В связи с проблемой снижения биологического разнообразия, обусловленного как ухудшением экологической обстановки, так и деградацией земель из-за неблагоприятных природных явлений и нерационального природопользования, актуальными являются работы по обогащению биологических ресурсов в аридных условиях, в частности на степных территориях юга Красноярского края, республик Хакасии и Тыва.

Географические культуры – это опытные культуры древесных пород, созданные посадкой саженцев или посевом семян разного географического происхождения в однородных условиях среды или одного происхождения в различных географических районах, применяемые в лесной практике для изучения географической изменчивости растений. Взаимодействие наследственных свойств климатипов и условий среды определяет устойчивость и продуктивность лесных культур [1, 3].

В процессе развития растения в окружающую среду выделяются продукты вторичного метаболизма как надземной частью (филлоферой), так и подземной (ризопланой), что приводит к формированию микробного сообщества, характерного для конкретного вида растения при равных других гидротермических факторах.

Целью исследований являлась оценка первичных изменений в почвенном микробном сообществе, вызванных посадками географических культур *Pinus sp.*, за период 2017–2020 гг.

В мае 2017 г. на территории ОЭП «Ширинский» ФИЦ КНЦ СО РАН (Республика Хакасия) был распахан участок степи и заложена опытная плантация, на которой сотрудниками лабораторий генетики и лесной селекции, а также микробиологии и экологической биотехнологии ИЛ СО РАН были высажены географические культуры *Pinus sp.*, включающие в себя климатипы сосны обыкновенной и сосны сибирской: *Pinussibirica* Du Tour (далее в тексте кедр, К) – «Монголия» (КМ – происхождение Р. Монголия, Восточная Азия), «Байкал» (КБ – происхождение оз. Байкал, Иркутская область), *Pinus sylvestris* L. (далее сосна, С) – «Усть-кут» (СУ – г. Усть-Кут, Иркутская область), «Богучаны» (СБ – с. Богучаны, Богучанский район, Красноярский край), «Пудож» (СП – г. Пудож, Республика Карелия). Контролем служил целинный (нераспаханный) участок почвы, прилегающий непосредственно к посадкам.

Плантация климатипов заложена на склоне западной экспозиции на участке бывшей пашни. Микрорельеф выражен слабо, чередуются блюдцеобразные микрозападины и потяжины. Саженцы климатипов СУ, КМ, КБ, СБ высажены в блюдцеобразной западине у подножия склона, а саженцы климатипа СП – на верхней части склона. Контрольный участок расположен на выположенной верхней части склона западной экспозиции. Почвы под посадками культур и на контрольном участке являются генетически однородными и относятся к черноземам обыкновенным карбонатным среднегумусовым маломощным легкосуглинистым. По классификации 2004 г. [2] являются агроземами (постагроземами) аккумулятивно-карбонатным темным, которые в основном формируются из черноземов с укороченным гумусовым горизонтом. Общее строение профилей таких почв следующее АUra (РА) – ВСаdc – Сса. Почвы плантации характеризуются слабощелочной реакцией, достаточно узким отношением С:N (от 7.6 до 9.7). Содержание минеральных форм азота низкое, подвижного фосфора среднее, обменного калия повышенное.

Образцы ризосферной почвы под саженцами отбирали в фенофазы набухания/распускания почек, летней вегетации и осеннего расцветивания листвы. Непосредственно перед высадкой саженцев в I декаде мая также были отобраны образцы почвы с каждого участка (нулевая точка). В почвенных образцах исследовали соотношение эколого-трофических групп и суммарную (общую) численность микроорганизмов (ОЧМ), а также определяли респирометрические микробиологические показатели (МБ и БД) и ферментативную активность. При обработке результатов исследования применяли программу Microsoft Excel 97.

За период наблюдений (2017–2020 гг.) значения pH_{H_2O} в среднем значительно увеличились в щелочную сторону на 1.33 единицы, а содержание общей влаги в почве понизилось в 1.2 и 1.6 раза по сравнению с 2018 г. Под посадками географических культур проявились первые признаки изменения нативного почвенного микробиоценоза. В среднем ОЧМ в 2020 г. превышал таковой показатель в 2017 в 1.4, в 2019 – в 1.5 раза, и был ниже, чем в 2018 г. в 1.4 раза. В 2020 г. значительно увеличилось число спорных бактерий (актиномицетов в том числе) и снизилось количество грибов и неспорных бактерий. Несмотря на то, что все климатипы формируют схожие по таксономическому составу микробные сообщества, отмечены тенденции их изменения в сторону формирования специфических для видов хвойных микробиомов, обусловленных особенностями качественного состава экзо-метаболических корневых систем. Образцы ризосферной почвы климатипов сосны кедровой (КМ и КБ) за весь период исследований характеризовались более низкой общей численностью микроорганизмов и повышенной долей гидролитиков, относительно климатипов сосны обыкновенной (СУ, СП, СБ) и контроля.

Динамика микробной биомассы (МБ) в первый вегетационный период во всех вариантах опыта и в контроле развивалась однотипно. На второй, третий и четвертый годы посадки под саженцами заметно проявлялось влияние корневых выделений на содержание МБ. В период 2018–2019 гг. корневые выделения сосны кедровой и сосны обыкновенной формируют большие, по сравнению с контролем, значения МБ, причем под сосной кедровой значения МБ выше (в среднем в 1.3 раза), чем под сосной обыкновенной. В 2020 г. общее содержание МБ под климатипами снизилось в 1.2 раза по сравнению с 2017 и 2019 гг., предполагаем, что это связано с формированием специфических для видов *Pinus* sp. ризосферных сообществ. Наибольшие значения МБ отмечены под климатипами КБ и СБ – 785 и 803 мкг С/г почвы соответственно). Интенсивность микробного дыхания (БД) в 2022 г. снизилась, приблизившись к эко-физиологической норме.

В почве под всеми климатипами отмечена довольно низкая активность гидролитических ферментов на фоне высокой активности оксидоредуктаз. Активность инвертазы под всеми климатипами повышалась с 2017 по 2020 гг. с 26.8 (КМ и СБ) до 56.8 (СП), однако не превышала таковую на контроле (К), где она достигала 65.5 мг/г почвы. Наибольшая средняя активность уреазы (2.83), как и инвертазы (42.3) была зарегистрирована под климатипом СП. Наиболее высокая активность фосфатазы была отмечена под КБ – до 1 мг/г почвы.

На участках с географическими культурами под саженцами *Pinus* sp. формируются специфические ризосферные микробные сообщества, обусловленные влиянием не только абиотических факторов, но и корневых выделений растений, о чем свидетельствуют значения общей численности микроорганизмов, перегруппировка эколого-трофической структуры микробных сообществ, изменение содержания микробной биомассы и энзиматическая активность под климатипами *Pinus* sp.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ирошников А.И.* Географические культуры хвойных в Южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. С. 4–100.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. *Проказин Е.П.* Изучение имеющихся и создание новых географических культур // Программа и методика работ. М.: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.

СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД ЛЕСНЫХ БИОЦЕНОЗОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: ШИРОТНО-ЗОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

Сушук А.А., Калинкина Д.С., Матвеева Е.М.

*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск,
anna_sushchuk@mail.ru*

Исследованы закономерности пространственного распределения и изменений структуры сообществ почвенных нематод в широтно-зональном аспекте на территории Европейской части России. Анализ архивных данных по почвенным нематодам на Европейской части СССР, актуализированных и обработанных с использованием современного инструментария, и собственных экспедиционных сборов позволил установить связь различных характеристик сообществ нематод с типом биоценоза и широтой местности.

Изучена фауна почвенных нематод лесных биоценозов на территории Мурманской области (66–68° с.ш.), Республики Карелия (61–66° с.ш.), Чувашской Республики (56° с.ш.), Московской (54° с.ш.) и Курской (51° с.ш.) областей, Ставропольского края (44° с.ш.), Республики Крым (44–45° с.ш.). Таким образом, район исследования охватывает природные зоны тундры, тайги, смешанных и широколиственных лесов, горных районов Крыма (горно-лесной пояс). Для оценки состояния сообществ нематод использованы следующие параметры: численность, таксономическое разнообразие, эколого-трофическая структура [1], эколого-популяционные индексы – индексы структурирования SI и обогащения EI почвенной трофической сети, индекс преобладающего пути разложения органического вещества в почве CI [2].

Показано, что наименьшие значения численности нематод на территории Европейской части России характерны для тундровых почв (1329 экз./100 г почвы, в среднем) и ряда широколиственных лесов (1134–1565 экз.), наибольшие – для ельников (6881–7394 экз.). Анализ таксономического разнообразия нематод показал, что широколиственные леса выделялись наибольшим числом выявленных таксонов (25–49 родов, в среднем) и высокими значениями индекса Шеннона ($H' = 3,2–4,8$). Низкое разнообразие выявлено для тундровой нематодофауны (16 родов; $H' = 2,9$) и почвы хвойных лесов (14–33 рода; $H' = 2,7–4,1$) с минимальными значениями в ельнике хвощовом, исследованном в Приокско-Террасном заповеднике.

Изучение эколого-трофической структуры сообществ нематод выявило преобладание бактериотрофов в почве большинства исследованных биоценозов. В качестве группы-субдоминанта выступают микотрофы (с большей частотой в хвойных лесах) или нематоды, ассоциированные с растениями (тундры, с высокой частотой в широколиственных лесах). В ряде биоценозов выявлено высокое обилие нематод-политрофов (тундра, широколиственные леса некоторых регионов) и паразитов растений (широколиственные леса).

Расчет эколого-популяционных индексов показал, что большинство исследованных биоценозов имеют высокие значения индекса структурирования SI , что указывает на сложные многокомпонентные трофические сети и стабильные местообитания в целом. Уровень обогащения почвы органикой, выраженный через индекс EI , наибольший в широколиственных лесах, наименьший – в хвойных лесах и тундровых биоценозах. Более низкие показатели индекса CI , указывающие на активное участие бактерий в разложении органики, обнаружены в широколиственных лесах. В тундровых и хвойных лесных биоценозах, а также в горных районах Крыма отмечены более высокие значения индекса CI , свидетельствующие о преобладании грибов в процессе деструкции почвенной органики. Таким образом, уровень обогащения почвы органикой (индекс EI) и характер ее разложения в почве (индекс CI) связаны с типом биоценоза.

Объединение полученных данных со сведениями нематологов из разных стран в рамках крупномасштабного исследования позволило изучить закономерности распределения почвенных нематод в различных биомах планеты [3]. Показано, что нематоды как одни из самых многочисленных животных в большей степени приурочены к высоким широтам. На основе сравнительного анализа установлено, что распределение плотности почвенных нематод в биоценозах Европейской России отличается от глобального меньшими значениями численности в тундровых почвах и значительно большей плотностью – в бореальных лесах, причем наибольший вклад в увеличение численности вносят нематоды почв еловых лесов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке средств федерального бюджета на выполнение государственного задания ИБ КарНЦ РАН (тема № 122032100130-3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Yeates G.W., Bongers T., de Goede R.G.M., Freckman D.W., Georgieva S.S. Feeding habits in soil nematode families and genera: An outline for soil ecologists // J. of Nematology. 1993. Vol. 25, N 3. P. 315–331.
2. Ferris H., Bongers T., de Goede R.G.M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept // Applied Soil Ecology. 2001. Vol. 18. P. 13–29.
3. Van den Hoogen J., Geisen S., Routh D. et al. Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale // Nature. 2019. Vol. 572. P. 194–198.

СЕКЦИЯ

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

КРУПНОМАСШТАБНАЯ ПОЧВЕННАЯ КАРТА НИЗКОГОРЬЯ СРЕДНЕГО УРАЛА, ОПЫТ СОЗДАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Гафуров Ф.Г., Коркина И.Н.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Роль почвенной съемки в изучении почвенного покрова любой территории неоспорима. Почвенная карта и легенда к ней с объяснительной запиской представляют собой основу информационной базы о природных условиях окружающей среды конкретного участка земной поверхности. Особенно велика роль в этом крупномасштабных базовых почвенных карт. На огромной территории Уральской горной страны до сих пор ни разу не была проведена крупномасштабная натурная почвенная съемка на больших площадях и, следовательно, нет достоверной информации о составе и структуре почвенного покрова этой горной страны. В связи с этим проводимые сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН работы по почвенному картированию лесной низкогорной части Свердловской области на территории Висимского государственного биосферного заповедника имеют большое научно-познавательное и практическое значение.

ФГБУ Висимский государственный природный биосферный заповедник располагается в пределах низкогорной южно-таежной части Среднего Урала на территории Свердловской области. Программа полевых почвенных научно-исследовательских работ (НИР) на площади 33 508 га была рассчитана на 4 года, с 2017 по 2021 год.

В составе НИР были выполнены морфологические описания почв 222 почвенных выработок (разрезов и прикопок) на территории заповедника и отобрано 473 пробы почв по генетическим горизонтам из почвенных разрезов. В них проведено определение гранулометрического состава почв и химических показателей. Все почвенные выработки и их местоположения сфотографированы и привязаны к географическим координатам. Была составлена почвенная карта исследуемого участка в М 1 : 25000 на всю площадь заповедника. В почвенных образцах восточной части заповедника, подверженной влиянию Невьянско-Кировградского промузла, определены содержания тяжелых металлов. На основе полученных данных составлены картограммы распределения тяжелых металлов по восточной части территории заповедника.

В результате проведенных полевых исследований выявлено, что различные участки территории заповедника находятся в неодинаковых геоморфологических условиях, характеризуются различным комплексом факторов почвообразования и, соответственно, своеобразием почв и почвенного покрова. Установлено наличие семи таких участков, которые в ландшафтной классификации могли быть определены как типы местностей, в рамках почвенно-

географического районирования как подрайоны, а по геоморфологической терминологии как горные массивы (высотные отметки более 500 м н.у.м.), увалы (высотные отметки не более 500 м н.у.м.), а также долинный комплекс реки Сулем.

Лесные бурые почвы в комплексе с дерново-подзолистыми и с горными примитивными почвами занимают 10 % территории заповедника. На середине склонов, между высотными отметками 470–450 метров, встречаются буреземоподобные почвы с неясно выраженными признаками оподзоливания в профиле. Именно к бывшему (древнему) гольцовому поясу нижнеолигоценового генезиса приурочены эти почвы с неясными признаками оподзоливания в их профиле. Нами эти почвы по результатам аналитических данных диагностированы как дерновые слабооподзоленные. Ниже пояса высотных отметок 470–450 метров нами на картируемой территории горные лесные бурые почвы не обнаружены.

На щебнистом элюво-делювии плотных силикатных породкаменистых вершин гор и на крутых, прилегающих к вершинам, участках склонов увалов, на курумах в сочетаниях с горными лесными бурыми почвами описаны литоземы грубогумусные. Они занимают небольшие площади в виде пятен в контурах горных лесных бурых почв и диагностированы нами как сильнокаменистые с поверхности горные лесные бурые неполноразвитые почвы.

На высотных отметках ниже пояса распространения горных лесных бурых почв располагается выраженный высотный пояс горных дерново-подзолистых в различной степени оподзоленных, часто коротко профильных, каменистых и нередко глееватых почв. Они сформировались на переотложенных выщелоченных плейстоценовых породах выветривания. В почвенном покрове заповедника они занимают 77 % площади Висимского заповедника. В ареалах этих почв они встречаются в сочетании с дерново-подзолистыми в различной степени оглеенными почвами и в комплексах-мозаиках с лесными бурыми почвами. Доля переувлажненных контуров дерново-подзолистых в различной степени оглеенных почв на почвенной карте заповедника чуть более 6 %.

В долинных комплексах речной сети территории заповедника выделены обобщенные контура почв аллювиального генезиса, которые занимают не более 4 % от всей площади заповедника. Это прежде всего пойма реки Сулем и слабовыраженные поймы ее притоков в низовьях их течений, которые заняты преимущественно аллювиальными дерновыми глеевыми почвами; редко их глееватыми аналогами.

Участки поймы реки Сулем с сильно затрудненным дренажом, на притеррасных понижениях и старых руслах, а также выположенные водоразделы межгорных седловин заняты болотными торфяными и торфянисто-глеевыми почвами. Участие группы болотных почв на территории заповедника не более 2 %. На ареалы прочих почвенных контуров, включая выходы скальных пород, приходится не более 1 % территории заповедника.

Таким образом, наиболее характерной особенностью структуры почвенного покрова горных систем в центральной части Среднего Урала являются комплексы-мозаики горных бурых лесных почв с горными дерново-подзолистыми почвами. Такие мозаики сформировались прежде всего благодаря неоднородности по составу и различию в возрасте почвообразующих пород. Основными факторами дифференциации почвенного покрова низкогорья являются высотная экспозиция и литологическая дифференцированность почвообразующих пород. Генетико-геометрический рисунок горных вершин ассиметрично-кольцевой пятнистый, склонов – полосчатый, разреженный наложенно-древовидный. В целом структура почвенного покрова района сложная по строению и сильноконтрастная по составу.

В холмисто-увалистой центральной части заповедника дифференциация почвенного покрова обусловлена литологической неоднородностью почвообразующих пород, высотной поясностью, проявлениями денудационно-аккумулятивных и водно-миграционных процессов. Генетико-геометрический рисунок структуры почвенного покрова (СПП) пятнисто-кольцевидный на вершинах гор и увалов, наложенно-древовидный на склонах и по долинам рек. В целом СПП района средне контрастная по составу и сложная по строению.

Описывая облик горных массивов Среднего Урала, следует отметить еще одну важную черту рельефа всей Уральской горной страны – асимметричность западных и восточных склонов, что четко отражается и на структуре их почвенного покрова. Асимметрия Уральских гор обусловлена тектоникой и историей их геологического развития. Восточные и западные склоны по составу почвенного покрова малоразличимы, но по СПП имеются значительные отличия.

На территории восточного участка Висимского заповедника выявлено загрязнение почв медью, цинком, кадмием и свинцом (определены кислоторастворимые формы). Суммарный показатель загрязнения этой территории тяжелыми металлами (ТМ) изменяется от 3 до 32. По суммарному показателю загрязнение большей части восточного участка Висимского заповедника (80 % обследуемой территории) оценивается как допустимое, ниже 16. Загрязнение ТМ почвенного покрова горных вершин и прилегающих к ним верхних участков восточных склонов оценивается умеренно опасным. Наибольший вклад в обсуждаемые суммарные показатели вносят значения коэффициентов концентрации свинца.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Карминов В.Н.¹, Мартыненко О.В.², Фадеева Е.А.¹, Максимова А.Н.¹, Щеникова Д.С.¹

¹ *ФГОУ ВО Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи*

² *ФАУ ДПО Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства, Пушкино*

Основоположнику русского генетического почвоведения Василию Васильевичу Докучаеву принадлежит известное высказывание, что почва – это зеркало ландшафта [2]. В современном представлении под ландшафтом понимают однородный участок земной поверхности с определённым сочетанием рельефа, климата, почв, растительного и животного мира. Таким образом, рельеф местности является одним основополагающим фактором как в формировании ландшафта, так и почвенного покрова. С точки зрения формирования лесных почв, рельеф местности прежде всего оказывает решающее влияние на перераспределение поверхностных вод, т. е. является важнейшим элементом формирования водного режима почв. Таким образом, без информации о рельефе невозможно решение самого широкого круга научных и практических задач в области лесного почвоведения, и, прежде всего, задач, связанных с картографированием, моделированием и прогнозированием.

Однако, в своей практической деятельности лесные почвоведы очень часто сталкиваются с дефицитом информации о рельефе, в особенности, когда речь идёт об использовании открытых источников.

Самым очевидным источником данных о рельефе могли бы служить топографические карты [3]. Тем не менее, на находящихся в свободном доступе среднемасштабных топографических картах рельеф показан недостаточно точно подробно. Этот недостаток сохранился и в относительно новых картах государственного геоинформационного центра. Поэтому, практическое использование этих данных носит ограниченный характер.

Настоящую революцию в сфере открытых глобальных данных о рельефе поверхности Земли совершила радиолокационная топографическая миссия шаттла или SRTM (англ. Shuttle Radar Topography Mission). SRTM – это международный исследовательский проект по созданию цифровой модели высот Земли с помощью радарной съёмки её поверхности. Эти данные были опубликованы более 20 лет назад, но по-прежнему сохраняют свою актуальность. Основную сложность в использовании спутниковых данных представляет довольно

низкое разрешение съёмки (30 м) и погрешностями определения высот, которые обусловлены как методом получения данных, так и появились при постобработке.

К настоящему времени в открытом доступе имеются данные о рельефе следующих глобальных проектов: SRTM, NASADEM, GLSDEM, ALOS, ASTER, Copernicus и FABDEM. Одна часть этих проектов представляет собой отдельные спутниковые миссии, а другая часть – это более глубокая проработка уже имеющейся информации, поэтому постоянно появляются всё более новые редакции наборов данных.

Определённую сложность в рассматриваемой проблеме представляет собой терминологический и понятийный аппарат. Так как приоритет в этой области принадлежит западным исследователям, то представляется целесообразным рассматривать терминологию в англоязычном оригинале. Прежде всего речь идёт о трёх определениях: digital elevation model (DEM), digital terrain model (DTM), digital surface model (DSM).

Несмотря на многие десятилетия научной работы в этом направлении на сегодняшний день в научной литературе не сложилось практики единого и универсального использования терминов DEM, DTM и DSM. В большинстве случаев термин DSM обозначает поверхность Земли и включает все объекты на ней. В отличие от DSM, DTM представляет собой данные о голой поверхности земли без каких-либо объектов, таких как растения и здания. Однако, зачастую DEM часто используется как общий термин для DSM и DTM или же могут применять DEM и DTM в качестве синонимов. Большинство провайдеров данных дистанционного зондирования Земли (USGS, ERSDAC, CGIAR, Spot Image и др.) используют термин DEM как общий термин для DSM и DTM. Это связано со способом получения данных, при котором фиксируются отметки отражающей поверхности, и в этом смысле они представляют из себя DSM. При этом данные, получаемые для открытых территорий, будут из себя представлять DTM, а для покрытых лесом – DSM. Причём в случае низкополотных насаждений это будет некое усреднённое значение DSM и DTM.

Существуют также попытки связать понятия DEM и DTM с формой представления данных о рельефе, когда под DEM подразумевается прямоугольная ячеистая модель, а под DTM-трёхмерная нерегулярная триангуляционная модель. Впрочем, такой подход, на наш взгляд, сложно признать удачным.

Отдельно следует сказать особенности перевода указанных терминов на русский язык [4]. В силу традиции, связанной с получением данных из открытых источников, DEM традиционно переводится как цифровая модель рельефа (ЦМР). Хотя последнее время в научной литературе набирает популярность перевод DEM как цифровая модель высот (ЦМВ), что ближе к первоисточнику и более соответствует сути термина [1]. С остальными терминами ситуация более однозначная, и DTM переводится как цифровая модель местности (ЦММ), а DSM-цифровая модель поверхности (ЦМП).

Практические работы по получению цифровых моделей рельефа проводились авторами для территории Московского учебно-опытного лесничества, расположенного на северо-востоке Московской области. При анализе всех имеющихся в открытых источниках цифровых моделей рельефа для лесных территорий в полной мере проявляется тот эффект, о котором указывалось выше, когда вместо отметок земли мы получаем отметки лесного полога. Даже данные космической съёмки, обработанные с помощью искусственного интеллекта (проект FABDEM) для достаточно крупных лесных массивов содержат усреднённые высоты лесного полога, а не отметки голой земли, что крайне затрудняет их использования для решения задач в области почвенного и гидрологического моделирования. Таким образом, имеющиеся данные нуждаются в корректировке. Разрабатываемая авторами методика предполагает осуществлять эту корректировку на основе данных о высотах лесных насаждений, которые содержатся в актуальных производственных лесоустроительных материалах. Обычно, в рамках этого подхода решается обратная задача, когда путём сравнения средних отметок лесного полога и отметок земли вычисляется средняя высота древостоя без трудоёмких натурных

измерений. Факт успешного определения высот деревьев на основе сравнения двух цифровых моделей высот подтверждает жизнеспособность предлагаемой методики. Кроме того, дополнительная верификация получаемой цифровой модели рельефа будет осуществляться с привлечением данных топографических карт из открытых источников и с помощью выполнения натуральных замеров высотных отметок с помощью геодезического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гопн Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А. и др. Применение цифровой модели высот (ASTER GDEM, 30 м) для оценки пространственной изменчивости содержания основных макроэлементов в агросерой почве склона // *Агрохимия*. 2016. № 4. С. 46–54.
2. Карпачевский Л.О. Зеркало ландшафта. М.: Мысль, 1983. 156 с.
3. Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б. и др. Выбор базовой цифровой модели рельефа (ЦМР) Архангельской области и ее подготовка для геологического районирования // *Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, Москва, 11–15 ноября 2019 года / Институт космических исследований Российской академии наук. Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2019. С. 388.
4. Новаковский Б.А. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа: Учебное пособие. М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2019. 175 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И ДЗЗ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКОВ ЛЕС-ПОЛЕ ПО NDVI ВЕГЕТАЦИОННОМУ ИНДЕКСУ

Комаров А.А., Кирсанов А.Д., Суханов П.А.

*Агрофизический институт, Санкт-Петербург,
Zelenydar@mail.ru, andrkkir88@gmail.com, Pavel_Suhanov@mail.ru*

Развитие новых ГИС-технологий и применение дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса раскрывают перспективы их широкого использования в лесохозяйственной и сельскохозяйственной практике. Так, для оценки состояния как многолетней лесной, так и полевой растительности наиболее перспективным направлением исследований является анализ спутниковых снимков высокого пространственного разрешения с оценкой интенсивности вегетации или индекса NDVI [1–2]. При этом спутниковые данные используются для контроля антропогенных и природных процессов, протекающих с малой и средней скоростью на значительных площадях [1].

В качестве объекта исследований рассматривается тестовый полигон ЗАО «Мельниково», расположен в лесной зоне Западно-Европейской провинции Балтийско-Ладожского округа Приозерского района Ленинградской области. Площадь полигона 28 га. Территория полигона расположена на равнинной местности с пологим северо-западным уклоном. Координаты полигона 60°51'–60°52' северной широты и 29°48'–29°49' восточной долготы. Для оценки состояния растительного покрова использовался ресурс LAND viewer на EOS platform. Этот ресурс позволяет в открытом доступе не только в динамике оценивать соответствующие шкалы вегетационного индекса, но и детализировать зоны неоднородности внутри каждого массива (рис. 1).

На основании анализа снимков (рис. 1) можно выявить наиболее приемлемые из них для анализа состояния растительного покрова. Таковыми оказались снимки в режиме NDVI, выполненные с использованием спутника Sentinel-2.

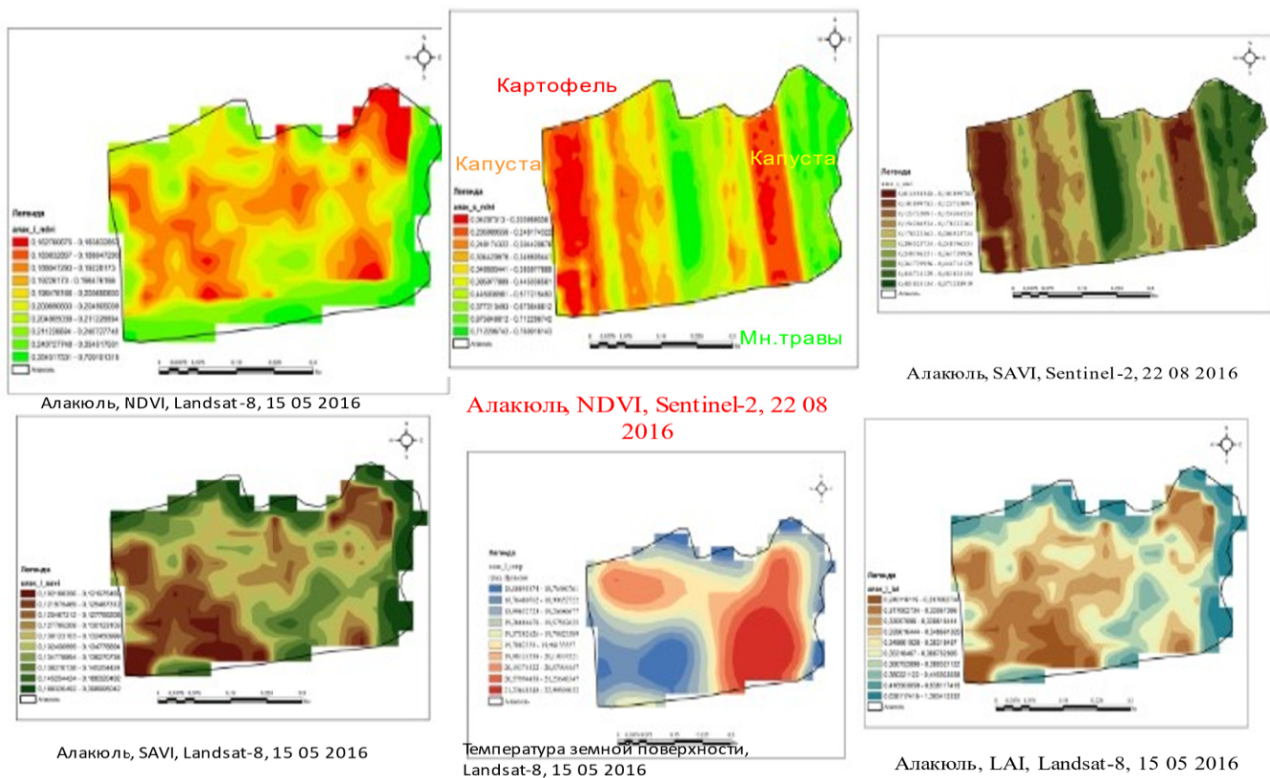


Рис. 1. Выбор космоснимков для идентификации зон неоднородности на полигоне

На основании кластерного анализа сопряженных участков лесного массива и части поля можно проследить развитие вегетирующих растений во времени и в пространстве, выделить зоны неоднородности роста и развития (рис. 2).

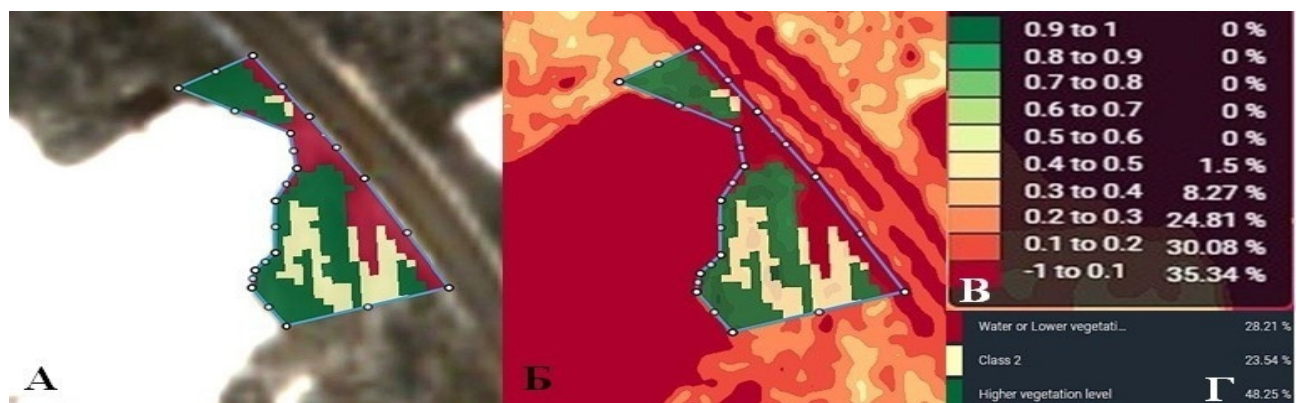


Рис. 2. Состояние вегетирующих растений в марте:

А: Снимок в видимом диапазоне. Левый край рисунка – пахотная почва, справа выделен участок леса.
 Б: Снимок в NDVI. Правый край рисунка – массив леса.
 В–Г: Кластерный анализ снимка

Наиболее контрастные данные по развитию однолетних и многолетних растений можно получить в ранневесенний период. Так, на рис. 2 в марте отчетливо видно, что пахотное поле (левая часть снимка) находится под снегом. Контрастно к пахотному участку выглядит участок под лесом (правая часть рисунка). Вегетационный индекс демонстрирует отсутствие растительного покрова на участке пашни и вегетацию на участке леса. В тоже время кластерный анализ по всему массиву характеризует незначительный уровень вегетации, всего 1,5 % с индексом 0,4–0,5 единиц и 8,27 % с индексом 0,3–0,4.



Рис. 3. Сопряженные показатели по изменению индекса NDVI на участках леса и пашни за вегетационный период май–август

На рис. 3. представлено изменение индекса вегетации в сопряженных участках леса и пашни, где можно проследить интенсивность роста и развития однолетних (пашня) и многолетних (лес) растений во времени, идентифицировать основные культуры (пашня) и древесные насаждения (лес).

Таким образом, правильный выбор режимов оценки данных ДЗЗ, использование цифровизации оцениваемых показателей (кластерный анализ) и динамика оцениваемых показателей раскрывают возможности формирования надежной базы данных для лесохозяйственной и сельскохозяйственной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баширова Ч.Ф. Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности // Молодой ученый. 2019. № 31 (269). С. 30–31.
2. Оплетав А.С., Жигулин Е.В., Косов В.А. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 3 (70). С. 15–23.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»

Куликова А.И.^{1,2}, Смирнова М.А.²

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

² МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, kulikovanastya2001@yandex.ru

Идей создания национального парка (НП) «Смоленское Поозерье» послужило сохранение коренных ландшафтов хвойно-широколиственных лесов, подвергшихся изменению и частичному исчезновению вследствие активной антропогенной деятельности. В результате на территории НП сформировались разнообразные постагрогенные почвы, нуждающиеся в отображении на картах для понимания и оценки реального состояния почвенного покрова. Целью работы является выявление особенностей пространственной организации почвенного покрова участка (площадь 8,6 км², расположен в центре НП) с помощью традиционного и цифрового методов картографирования с последующим сравнением результатов двух методов. Материалами для составления обеих карт послужили полевые описания почв в 142 точках и пространственные данные как о самих почвах с почвенных карт колхозов 1982–1992 гг. масштаба 1 : 10 000 [1], так и о факторах почвообразования. Используются цифровая модель рельефа с разрешением 30 × 30 м и рассчитанные по ней морфометрические характеристики; лесотаксационная карта (1 : 100 000), индексы NDVI за летний и зимний периоды (по снимку Sentinel-2), данные о распространении хвойных лесов, лугов и болот из Open Street Map (OSM). Антропогенное воздействие учитывалось

через разновременные спутниковые снимки (Corona, 1970; Landsat 5, 1986 и 1989; Sentinel-2, 2020; WorldView-2), землеустроительные планшеты (ЗУПы 1982–1987 гг. масштаба 1 : 10 000) и данные о распространении полей из OSM. Данных о почвообразующих породах, требуемых для составления карты в крупном масштабе на ключевой участок, не обнаружено.

Методика составления традиционной карты базировалась на факторном подходе и создана с помощью отрисовки почвенных выделов согласно гипотезе о формировании одинаковых почв в схожих ландшафтных условиях в программе QGIS 3.16. Создание цифровой карты основывалось на почвенно-ландшафтных моделях, описываемых рядом уравнений. Поиск взаимосвязей между данными о почве и факторах ее образования (предикторов) закрепляется за машинными методами обучения [2]. В данной работе использовался алгоритм случайных лесов [3], представленный набором деревьев решений, имеющих иерархическую структуру для разбиения единого множества значений на более мелкие и непересекающиеся друг с другом. Каждое дерево обучается по определённому набору данных. Расщепление общего множества происходит относительно выбранного предиктора [3]. Использовался язык программирования R, написание кода реализовано в Rstudio. Общее количество учтенных предикторов составило 22.

Почвенный покров ключевого участка был разделен на обеих картах на 8 почвенных групп: (1) подзолы, дерново-подзолы и дерново-подзолы постагрогенные; (2) дерново-подзолистые постагрогенные; (3) серогумусовые и серогумусовые постагрогенные; (4) перегнойно-глеевые; (5) торфяные с торфяно-подзолами; (6) аллювиальные гумусовые глеевые; (7) аллювиальные торфяные; (8) агроземы.

Наиболее значимыми факторами пространственной дифференциации компонентов почвенного покрова при составлении обеих карт выявлены: топографический индекс влажности (отделяет почвы автономных позиций от почв подчиненных), лесотаксационная карта (выделяет дерново-подзолистые постагрогенные и гидроморфные почвы) и спутниковые снимки (уточняют границы агроземов). Дополнительно для проведения контуров на традиционной карте учитывалось превышение в окрестностях 250 м, для прогнозирования выделов на цифровой карте – данные о распространении луговой растительности (совпадают с границами агроземов), значения зимнего индекса NDVI (участвуют в выявлении контуров агроземов, перегнойно-глеевых и аллювиальных серогумусовых почв), данные о распространении торфяной залежи (выделяют аллювиальные торфяные почвы), данные о распространении хвойной растительности (определяют положение альфегумусовых почв) и показатель базовых уровней речной сети (влияет на конфигурацию перегнойно-глеевых, торфяных и аллювиальных серогумусовых почв).

При визуальном сравнении традиционной и цифровой карт отмечается сходство в расположении почвенных ареалов и их конфигурации. Процентное соотношение площадей, занимаемых одними и теми же почвами, примерно одинаковое (табл.). Наибольшее распространение имеют серогумусовые и серогумусовые постагрогенные, перегнойно-глеевые и почвы альфегмусового отдела. Самый малый процент от общей площади занимают аллювиальные торфяные и дерново-подзолистые постагрогенные почвы.

Общая точность моделирования составила 57 %. Пространственная оценка общего совпадения почвенных выделов на обеих картах оставила 63 %. Высокие проценты точности и пространственного совпадения (табл.) отмечаются для аллювиальных торфяных и агроземов, взаимосвязь которых довольно точно определена с с/х полями, участками с лиственной и травянистой растительностью, а также с характерными формами рельефа. Наименьшим совпадением по расчету точности и пространственному положению отличаются контура постагрогенных почв. Связано это со сложностью учета в модели временно-го фактора с дальнейшим разделением почв, находящихся на различных стадиях восстановления.

Анализ по традиционной и цифровой почвенным картам

Почвы	Традиционная % от общей площади участка	Цифровая			% совпавших пикселей на обеих картах
		% от общей площади участка	Точность, %		
			пользо- вательская	продюс- серская	
Подзолы, дерново-подзолы и дерново-подзолы постагрогенные	20	16	50	38	45
Дерново-подзолистые постагрогенные	2	2	50	17	38
Серогумусовые и серогумусовые постагрогенные	35	30	63	77	61
Перегноино-глеевые	22	24	52	87	72
Торфяные, торфяно-подзолы	6	9	0	0	58
Аллювиальные гумусовые глеевые	6	9	56	39	75
Аллювиальные торфяные	1	2	100	80	90
Агроземы	8	10	86	60	83

В целом, результат цифрового картографирования довольно точно воспроизвел карту, полученную традиционным методом, что свидетельствует о перспективности развития цифровых методов в почвенной картографии. Полученная цифровая модель, может быть, использована для дальнейшего моделирования почвенно-ландшафтных связей на участки со схожими физико-географическими условиями при отсутствии почвенных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 21-74-20171 (<https://rscf.ru/project/21-74-20171/>)).

ЛИТЕРАТУРА

1. Почвенные карты совхозов Демидовского и Духовщинского районов Смоленской области. М: 1 : 10 000. Авторы: Л.П. Антонова, В.И. Антонов, П.П. Голуб, А.И. Скромный, Д.Я. Хибабаева, Т.Я. Самошкина, Н.С. Касьянова, Д.Я. Ярмогомедова. Смоленск: ВНИИГиМ и института «Центрпрозем». С. 1985–1992.
2. McBratney A.B., Santos M.L.M., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. Т. 117. № 1–2. С. 3–52.
3. Breiman L. Random forests // Machine learning. 2001. Т. 45. № 1. С. 5–32.

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕДКИХ И УНИКАЛЬНЫХ ПОЧВ ПАХОТНЫХ И ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ОСНОВЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ

Матыченкова О.В., Матыченков Д.В., Азаренок Т.Н., Дыдышко С.В.

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, brissa_aspirant@tut.by

Почвенный покров, как наиболее динамически изменяющийся компонент экосистем, является одним из ключевых факторов формирования и сохранения биологического разнообразия природных комплексов, определяющий его стабильность состояния, возобновления и экологического равновесия. Почвы как естественно-исторические тела, имеют свои неповторимые генетические особенности, являющиеся результатом сочетания факторов почвообразования, формируя «природно-исторический облик» того природного региона (почвенно-экологического района), в котором получили распространение.

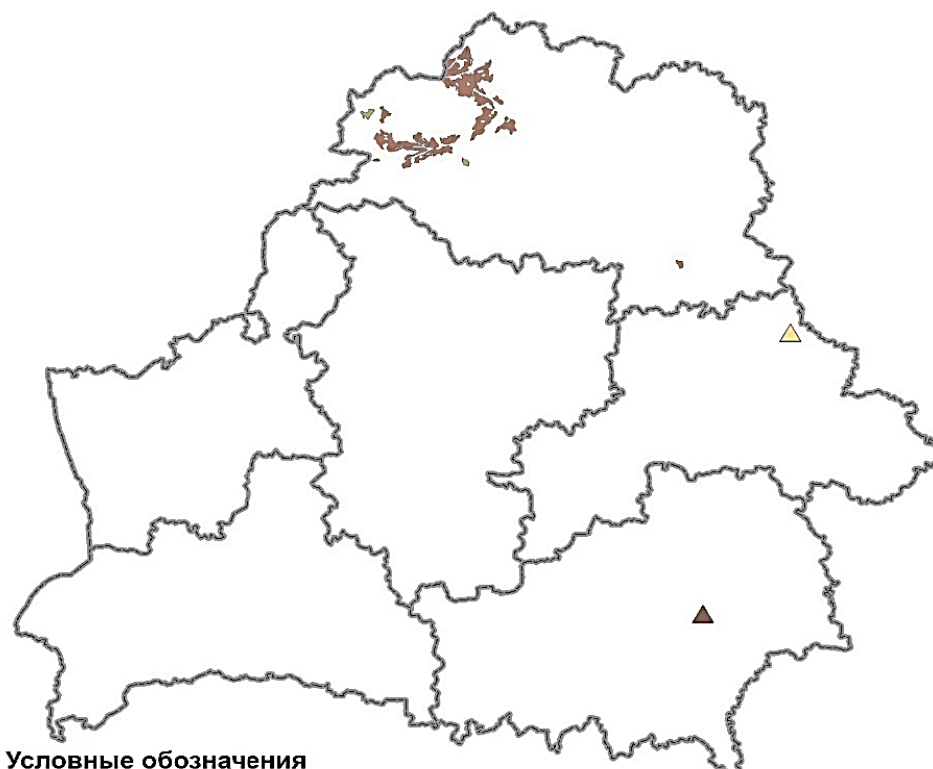
В рамках проведенных исследований нами были установлены качественные критерии, по которым почвы почвенно-экологических районов (ПЭР) могут быть отнесены к категориям

«редких» и «уникальных» – это почвы, формирующиеся в необычных экологических условиях; почвы, формирующиеся на редких по генезису или строению почвообразующих породах; почвы со сложной историей развития, отразившейся в строении профиля и свойствах почвы, почвы, сельскохозяйственное освоение которых ведет к угрозе полного исчезновения в целом состоянии. Количественными критериями явились площадные данные распространения почвенного ареала: «редкие» – почвы занимают от 3 до 5 % площади ПЭР; «уникальные» почвы занимают до 3 % площади ПЭР.

Согласно этим критериям, нами были выделены шесть почвенных разновидностей, отнесенных к категории «редкие», «уникальные», составлены экологические паспорта (с информацией об их классификационной принадлежности, площадном распространении с картографическим изображением территории размещения, описанием и фото почвенного профиля, сведениями о физико-химических и агрохимических свойствах [1, 2].

Основным базисом для составления картосхем пространственного распространения редких и уникальных почвенных разновидностей в составе пахотных и лесных земель явились:

- почвенные карты и карты административно-территориального деления различного масштаба, выполненные традиционным способом (М 1 : 25 000; М 1 : 50 000; М 1 : 1 250 000; 1 : 600 000);
- фондовые материалы и литературные источники (результаты научно-исследовательских работ и крупномасштабного почвенного картографирования);
- инструменты информационной системы характеристики почвенного покрова Беларуси с применением ГИС-технологий. При создании картосхем распространения почв использованы возможности графического редактора «Adobe Illustrator CS3» и программного пакета ArcGIS.



Условные обозначения

- ▲ Подзолистая постпахотная, развивающаяся на мощных древнеаллювиальных песках, связнопесчаная почва
- ▲ Подзолистая типичная, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках, легкосуглинистая почва

■ Дерново-карбонатная выщелоченная суглинистая, развивающаяся на мощных легких моренных суглинках почва

■ Дерново-подзолистая временно избыточно увлажняемая суглинистая, развивающаяся на озерно-ледниковых средних суглинках; подстилаемых с гл. 0,55 м ленточными средними глинами почва

Картосхема распространения отдельных разновидностей редких и уникальных почв

На первом этапе, на основании материалов крупномасштабного почвенного картографирования и обобщения материалов фондовых и литературных данных, была составлена картосхема преимущественного распространения почвообразующих пород в границах ПЭР, на которых происходит формирование редких и уникальных почв.

Далее были составлены 3 картосхемы распространения почв, отнесенных к категориям редких и уникальных. На рис. представлена одна из таких картосхем, где отображены ареалы распространения редких и уникальных почв Северной, Центральной и Южной почвенно-экологических провинций (ПЭП). Разновидности подзолистых почв, сформировавшихся на лессовидных и древнеаллювиальных отложениях в Центральной и Южной ПЭП, были представлены условным знаком (в виде треугольника) по месту геопривязки разрезов, так как они не были отражены ни на одной из почвенных карт, созданных для данных территорий.

С применением геостатистического анализа нами впервые были подсчитаны ареалы распространения выделенных почвенных разновидностей в пределах исследуемых ПЭР.

Так, например, установлено, что в Северной ПЭП, в Браславско-Ушачско-Витебском ПЭР, редкие дерново-карбонатные выщелоченные суглинистые почвы, развивающиеся на мощных легких моренных суглинках почвы, занимают 4800 га, а уникальные дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные суглинистые почвы, развивающиеся на озерно-ледниковых средних суглинках, подстилаемых с глубины 0,5–1,0 м ленточными средними глинами в Шарковщинско-Верхнедвинском ПЭР получили распространение на площади 121 000 га. Аналогичный подсчет был проведен для других редких и уникальных почв 2-х ПЭР Центральной и Южной провинций.

Исследования редких и уникальных почв позволяют расширить научную базу для создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ), разработки системы специализированных почвенных заказников, памятников природы и иных специально охраняемых почвенных объектов в республике.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Азаренок Т.Н.* Уникальные почвы Оршанско-Мстиславского почвенно-экологического района / Т.Н. Азаренок [и др.] // Плодородие почв: оценка, использование и охрана, воспроизводство: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Минск, 26–30 июня 2017 г.) / редкол.: В.В. Лапа [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2017. С. 8–11.

2. *Матыченкова О.В.* Подзолистые почвы – уникальные почвы республики Беларусь / О.В. Матыченкова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. № 1 (64). 2020. С. 45–53.

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА С ПОМОЩЬЮ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ GOOGLE EARTH ENGINE

Нарыкова А.Н., Плотникова А.С.

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва,
Narykovaanna@yandex.ru, plotnikova-as-cepl@yandex.ru*

В связи с увеличением парниковых газов в атмосфере, вызывающее глобальное потепление климата, у ученых возник интерес к исследованию климаторегулирующих функций лесов. Лесные экосистемы мультифункциональны, под этим подразумевается способность экосистем одновременно выполнять различные функции и предоставлять блага в виде экосистемных услуг человечеству. Леса одновременно выполняют множество функций и предоставляют большое количество экосистемных услуг: от заготовки древесины и продуктов питания

(грибы, ягоды, лекарственные растения) до накопления углерода, защиты водосборных бассейнов, рекреации и др. К климаторегулирующим экосистемным услугам лесов относят депонирование углерода, регулирование теплового, гидрологического режимов, потоков парниковых газов [4].

В настоящей работе подробно рассматривается одна из климаторегулирующих экосистемных услуг лесов – аккумуляция почвенного органического углерода в лесных экосистемах. Целью настоящего исследования является моделирование запасов углерода республики Карелия и Карельского перешейка с помощью методов машинного обучения на основе геопространственных предикторов и наземных измерений.

В качестве обучающей выборки для построения регрессионных моделей использовались полевые данные, полученные в рамках международной программы ICP-Forests в 2008 г. [2, 5]. Для вычисления запасов почвенного органического углерода минеральной толщи и лесной подстилки использовались следующие измерения: содержание органического углерода (г/кг); плотность (кг/м^3), мощность горизонта (м).

Для проведения моделирования был подготовлен набор из пространственных данных (18 предикторов), характеризующих факторы почвообразования согласно модели SCORPAN, которая активно используется в цифровом почвенном картографировании [10] (табл.).

Представление используемых предикторов на основе модели SCORPAN

S	Почвы	Почвенные характеристики SoilGrids [11]; типы почв на основе почвенной карты РСФСР [7]
C	Климат	Набор климатических данных World Clim и атмосферный реанализ ERA5-Land [1, 3]
O	Растительность	Композитные спутниковые сезонные изображения (коллекция изображений USGS Landsat 5 Level 2, Collection 2, Tier 1 с 2005 по 2010 гг.); вегетационные индексы NDVI и LAI.
R	Рельеф	ЦМР ArcticDEM, дополненная Глобальной моделью рельефа ETOPO [8, 9]
P	Материнская порода	Типы почвообразующих пород на основе почвенной карты РСФСР [7]
A	Возраст, время	На данный момент для построения моделей запасов углерода не использовались
N	Пространственное положение	Географические координаты (широта/долгота)

Подготовка предикторов и моделирование аккумуляции органического углерода реализуется посредством онлайн платформы Google Earth Engine ввиду возможности работы с большим массивом архивных спутниковых изображений, климатических, почвенных и других геопространственных данных, а также использования алгоритмов машинного обучения [6].

На территорию Республики Карелия и Карельского перешейка была построена модель запасов углерода в лесной подстилке ($R^2 = 0,614$; $RMSE = 2,12$), используя алгоритм машинного обучения Случайных лес (англ. Random Forest). Согласно алгоритму, из основной выборки формируются подвыборки с заменой. По каждой подвыборке строится своя модель дерева решений. В результате работы таких моделей получается много, поэтому метод получил свое название «случайного леса», так как обобщается множество деревьев, полученных по случайным выборкам. Конечная модель представляет собой взвешенное среднее из всех построенных деревьев решений.

После визуального анализа полученных результатов моделирования следует предположить, что существует связь между запасами углерода в лесной подстилке и высотой над уровнем моря: с уменьшением высот наблюдается увеличение запасов углерода в лесной подстилке. Подробный анализ полученных результатов распределения запасов почвенного углерода на исследуемой территории будет проведен после оценки качества моделирования с помощью кросс-валидации. Итоговые результаты будут представлены в виде цифровых карт и базы данных отдельно для лесной подстилки и минеральных почвенных горизонтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атмосферный реанализ ERA5-Land – <https://www.ecmwf.int/en/era5-land>. 22 мая. 2023.
2. Бахмет О.Н., Федорец Н.Г., Крышень А.М. Исследования по международной программе ICP-Forests в Карелии. Институт леса Карельского научного центра РАН // Тр. Карельского научного центра РАН. 2011. № 2. С. 133–139.
3. Климатическая база данных Worldclim – <https://www.worldclim.org/>. 22 мая. 2023.
4. Лукина Н.В., Гераськина А.П., Кузнецова А.И., Смирнов В.Э., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Тихонова Е.В., Тебенькова Д.Н., Басова Е.В. Функциональная классификация лесов: актуальность и подходы к разработке // Лесоведение. 2021. № 6. С. 566–580.
5. Методика мониторинга лесов по международной программе ICP Forests. М. 2008. 46 с.
6. Онлайн платформы Google Earth Engine – <https://earthengine.google.com/>. 22 мая. 2023.
7. Почвенная карта РСФСР. Под ред. В.М. Фридланда. Масштаб 1 : 2 500 000. М.: ГУГУК, 1988 (Скорректированная цифровая версия, 2007).
8. Цифровая модель ArcticDEM – <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>. 22 мая. 2023.
9. Цифровая модель ETOPO Global Relief Model – <https://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model>. 29 мая 2023.
10. McBratney A.B., Mendoca Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117. Issues 1–2. P. 3–52.
11. SoilGrids – global gridded soil information – <https://www.isric.org/explore/soilgrid> 23 мая 2023.

ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КАРТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

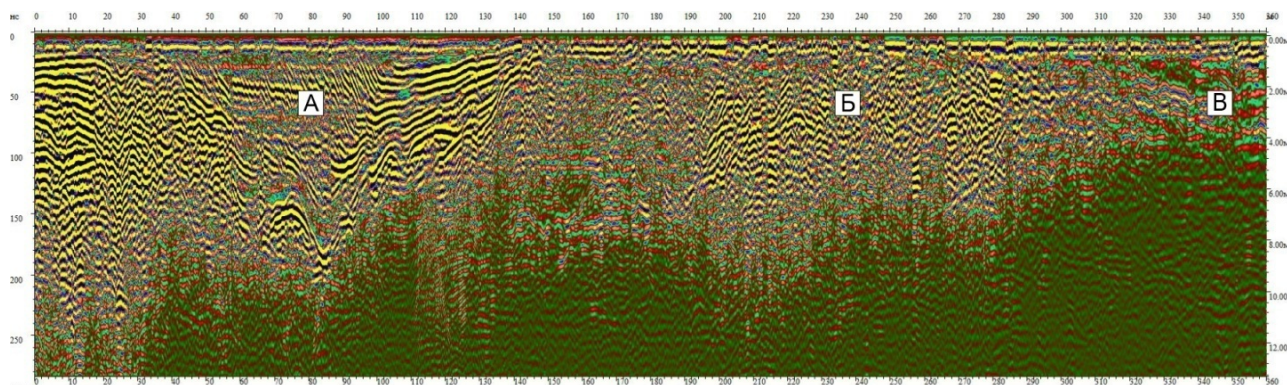
Рязанцев П.А., Ткаченко Ю.Н.

Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, Петрозаводск, chthonian@yandex.ru

На сегодняшний день дистанционные зондирования являются наиболее производительными при крупномасштабном картировании почв [1, 2, 3]. К ним кроме общепринятых спутниковых снимков в разных спектральных диапазонах, а также фото- и лазерной аэросъемки, в общем виде можно отнести и геофизические методы, иногда выделяемые в отдельную группу проксимальных (*proximal*) [4]. Из всего разнообразия методов геофизики оптимальным средством для решения задач изучения почвенного профиля служит георадиолокация [5], которая основана на зондировании среды короткими и высокочастотными электромагнитными импульсами и регистрацией отраженного сигнала. Как показывает практика, анализ георадарных записей (радарограмм) позволяет не только проследить почвенные горизонты [6], но и выявить изменение отдельных почвенных атрибутов в естественном залегании [7]. Особое значение развитие методологии георадиолокационной съемки имеет для исследований лесных почв, где древостой осложняет получение информации дистанционными зондированиями, а, например, в случае среднетаежной подзоны Карелии отличается высокой изменчивостью и мозаичностью [8].

Исследования выполнялись на серии пробных площадей в центральной Карелии с использованием георадара ОКО-2 и антенных блоков с центральной частотой 150, 400 и 1700 МГц («НПО Геотех»). По полевым наблюдениям было установлено, что георадиолокация обеспечивает быстрое определение изменения минерального субстрата, указывает на участки изменения влажности почвы, а также в ряде случаев позволяет зафиксировать смену типа почв и изменение мощности отдельных горизонтов. При этом существует значимая проблематика параметризации полученных данных. В качестве примера выполненных работ на рис. показан фрагмент записи, выполненной в заповеднике «Кивач», где отчетливо видно, как один тип минерального грунта сменяется другим. В начале, по чашеобразной структуре и наклонным

рефлекторам фиксируются аллювиальные отложения палеорусл. Они сменяются каменистой супесчаной мореной, о чем можно судить по «хаотичной» картине отражений, а далее залегают суглинки, вызывающие интенсивное затухание сигнала.



Радарограмма, демонстрирующая постепенный переход от песчаного субстрата (А) к супесчаному (Б) и глинистому (В)

Следует отметить, что в представленном исследовании в качестве теоретической основы использовалась концепция, в рамках которой почва описывается не как набор генетических горизонтов, а как некоторая функция, отражающая изменения почвенных атрибутов с глубиной [9]. Подобные взгляды хорошо согласуются с системой обработки и интерпретации данных, принятых в геофизике. При этом в качестве гипотезы было предположено, что для каждого типа почв существует своя уникальная функциональная зависимость электрофизических параметров с глубиной, которая может быть обнаружена и описана при помощи метода георадиолокации.

Для изучения электрофизических свойств была сформирована выборка образцов песчаных подзолов, отобранных в центральной Карелии. Каждый образец промерялся методом временной рефлектометрии аппаратурой TDR200 («Campbell Scientific») в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии с фиксацией значений электропроводности и диэлектрической проницаемости. Данные параметры являются определяющими для распространения георадарного сигнала в почве. На основании выполненных параметрических замеров установлено, что для песчаных подзолов средней тайги и, с высокой степенью вероятности, для песчаных подзолов других регионов на георадарной записи наиболее контрастной и хорошо читаемой на радарограммах будет граница между горизонтами $E-V_{hf}$ и $V_{hf}-C(B, BC)$. Дополнительно обнаружено влияние на динамические параметры отраженного сигнала процентного содержания органического вещества, железистых агрегатов и кварцевых частиц в песчаных подзолах.

В результате исследований было доказано, что привлечение метода георадиолокации обеспечивает получение широкого спектра информации о строении почвенного профиля. На основе опережающей съемки можно выполнять первичное цифровое картографирование, выявлять оптимальные места для раскопки разрезов и отбора проб, искать участки развития аномальных или трансформированных почв. Также, опираясь на полученные данные можно предположить существование индивидуальных сигнатур для каждого типа почв, однако их обоснование требует большого количества экспериментальных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mulder V.L., De Bruin S., Schaepman M.E., Mayr T.R. The use of remote sensing in soil and terrain mapping—A review // *Geoderma*. 2011. Vol. 162, N 1–2. P. 1–19.
2. Poppiel R.R., Lacerda M.P., Demattê J.A., Oliveira Jr. M.P., Gallo B.C., Safanelli J.L. Pedology and soil class mapping from proximal and remote sensed data // *Geoderma*. 2019. Vol. 348. P. 189–206.

3. Савин И.Ю., Жоголев А.В., Прудникова Е.Ю. Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. 2019. № 5. С. 517–528.
4. Rossel R.V., Adamchuk V.I., Sudduth K.A., McKenzie N.J., Lobsey C. Proximal soil sensing: An effective approach for soil measurements in space and time // Advances in agronomy. 2011. Vol. 113. P. 243–291.
5. Zajtíková K., Chuman T. Application of ground penetrating radar methods in soil studies: A review // Geoderma. 2019. Vol. 343. P. 116–129.
6. Рязанцев П.А. Определение морфологии почвенных горизонтов методом георадиолокации // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 105. С. 57–90.
7. Ryazantsev P., Hartemink A., Bakhmet O. Delineation and description of soil horizons using ground-penetrating radar for soils under boreal forest in Central Karelia (Russia) // Catena. 2022. Vol. 214. P. 106–285.
8. Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги / Отв. ред. Н.Г. Федорец. КарНЦ РАН. М.: Наука, 2006. 287 с.
9. Minasny B., Stockmann U., Hartemink A.E., McBratney A.B. Measuring and modelling soil depth functions // In: Digital Soil Morphometrics. Eds. A. E. Hartemink, B. Minasny. P. 225–240.

УДК631.423.4

ОПРОБОВАНИЕ ПОЧВ ПОД ЛЕСОМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Кондрашкина М.И., Дядькина С.Е.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,
vkbun@mail.ru, kondra_mar@mail.ru*

Почвы под лесом обладают большой пространственной неоднородностью, обусловленной как локальным воздействием растений разных ярусов, так и педотурбационной деятельностью почвенных животных. Вследствие этого количественные характеристики, получаемые при анализе почвенной массы, обладают высокой вариабельностью.

Структура организации почвенных свойств в поверхностном слое лесных почв обуславливает большие сложности при оценке достоверности различий средних значений показателей. Пример изменчивости содержания углерода в верхнем 30 см слое приводится в статье Е.А. Дмитриева с соавторами (табл.) [1]:

Пространственная изменчивость содержания
органического углерода в почве под елями

Глубина, см	Среднее	Дисперсия	Коэфф. вариации, %	Повторность	
				$\Delta = 0.5$	$\Delta = 0.2$
10	2.95	2.247	50.7	141	881
20	0.89	0.157	44.7	10	62
30	0.33	0.039	59.1	2	15
Весь слой	4.17	2.443	37.4		

Необходимое число повторностей n для подтверждения различий средних значений между отдельными участками или между величинами на одном участке можно рассчитать по формуле:

$$n = (Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2 \frac{s_1^2 + s_2^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где Z_α – значения функции, обратной к нормальной, для уровня значимости (ошибки первого рода α); Z_β – значения функции, обратной к нормальной (для ошибки второго рода β); Δ – разность между средними значениями, s^2 – дисперсия [1, 2].

Расчеты по формуле (1) могут быть выполнены в том случае, если

- 1) пробы в пределах объектов отобраны случайно
- 2) сравниваемые выборки независимы
- 3) распределения нормальны (или не слишком сильно отличаются от нормального)
- 4) дисперсии можно считать одинаковыми.

В самом простом случае дисперсии для сравниваемых пространственных или временных объектов можно считать одинаковыми. Наиболее часто α принимают равной 0.05, а β – 0.2 или 0.1. Нужно иметь в виду, что для практики число повторностей желательно увеличить на 2 шт.

Поскольку дисперсии содержания углерода в разных слоях оказываются различными, то и необходимые повторности так же будут различаться, причем наибольшее число повторностей для доказательства одной и той же разности особенно велико в слое 0–10 см для приствольной зоны, а для слоя 20–30 см число повторностей становится вполне приемлемым с практической точки зрения.

Согласно формуле (1), уменьшение числа повторностей может быть достигнуто разными путями: 1) увеличением α , что соответствует увеличению ошибки первого рода, т. е. умозаключению, что различия существуют, хотя они на самом деле не слишком вероятны; 2) увеличением β , что соответствует уменьшению мощности критерия и умозаключению, что различий на самом деле нет, хотя они существуют, и 3) увеличением Δ , что может привести к пропуску действительно важных изменений. Выбор между этими альтернативами остается за исследователем.

С другой стороны, уменьшение числа повторностей может быть достигнуто путем объединения проб и анализа смешанной пробы. Поскольку анализ смешанной пробы выполняется один раз, аналитическая погрешность не меняется, а природная дисперсия усредняется обратно пропорционально числу смешанных проб. Насколько существенным может быть изменение требуемого числа повторностей для горизонтального смешивания, если принять, что аналитическая погрешность составляет лишь небольшую часть от природной изменчивости, можно продемонстрировать для слоя 0–10 см (весь участок, табл.), взяв число индивидуальных проб для смешивания равным $r = 5$:

$$n = 2 * (Z_\alpha + Z_\beta)^2 \frac{s^2}{r\Delta^2} = 2 * (1.96 + 0.84)^2 \frac{2.247}{5*0.5^2} = 28$$

вместо 141, рассчитанного в предположении анализа единичной пробы.

Такое же объединение может быть сделано и для проб в вертикальном направлении, т. е. при объединении нескольких проб каждого слоя, соответствующих каждой из точек опробования (табл.). Поскольку содержание почвенного углерода – аддитивная величина, то суммарное значение в объединенной пробе должно соответствовать сумме значений в объединяемых слоях. Для независимых случайных величин дисперсия объединенных проб должна быть приблизительно равна сумме дисперсий слоев в том случае, если корреляции между слоями малы. Такое объединение уменьшает общую вариабельность на участке – коэффициент вариации не превышает во всех зонах 38 %. Однако такое уменьшение недостаточно для того, чтобы опробование было бы приемлемым с точки зрения практики. Дальнейшее уменьшение изменчивости возможно при использовании смешанных вертикальных проб. В этом случае элементом опробования становится вертикальная колонка. Конечно, вертикальная неоднородность в такой колонке присутствует, однако пробоподготовка, требующая тщательного усреднения проб, устраняет этот фактор. Такое смешивание уменьшает дисперсии

в r раз, где r – число смешиваемых проб. Например, снижение дисперсии при смешивании 9-ти вертикальных проб в 9 раз будет соответствовать уменьшению коэффициента вариации в 3 раза, т. е. коэффициент вариации будет равен 10–12 %. Дальнейшее уменьшение уже нецелесообразно с практической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев Е.А., Рекубратский И.В., Горелова Ю.В., Витязев В.Г. К организации свойств почвенного покрова под елями. В сб.: «Структурно-функциональная роль почвы в биосфере». М.: ГЕОС. 1999.
2. Козлов М.В. Планирование экологических исследований. М.: КМК. 2014. 171 с.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРИИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ КАРЕЛИИ

Сидорова В.А.¹, Конюшкова М.В.², Головлева Ю.А.²,
Ильичев И.А.², Красильников П.В.²

¹ Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, val.sidorova@gmail.com

² МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Органическое вещество почвы является одним из ключевых компонентов наземных экосистем, и любые изменения его запасов или состава оказывают большое влияние на многие процессы в биосфере планеты. Изучение пространственного распределения запасов гумуса в почвах имеет важное значение для решения целого ряда научных и практических вопросов: оценка влияния почв на эмиссию или фиксацию парниковых газов, изучение почвенного плодородия и пространственных закономерностей распределения живой фазы почв. Результаты картографирования запасов органического углерода, получаемые на небольшие площади, могут быть экстраполированы на большие территории путем применения экспертных оценок и геостатистических методов [4].

Исследования проводились на территории Карелии. Участок в районе деревни Вешкелица (61°54'N 32°52'E) находится в пределах среднетаежной подзоны [1]. Территория относится к Центральному агроклиматическому району. Почвы формируются в условиях грядово-холмистого и грядового сильно пересеченного рельефа. Это обуславливает обилие болотных котловин и выходов кристаллических горных пород. Западная и юго-восточная граница участка частично проходит по берегам озер, соединенных ручьем.

Лес участка определен как смешанный хвойно-мелколиственный. Доминирующие виды – береза, осина, ель, сосна. В напочвенном покрове преобладают черника, кислица, разнотравье; встречаются земляника, ландыш, костяника, мышиный горошек, брусника, хвощ. На заболоченных участках – сфагнум, багульник, клюква. Почвенный покров представлен сочетанием дерново-подзолов, дерново-подзолов глеевых, дерново-подбуров, темногумусовых глеевых, перегнойных глеевых и торфяных олиготрофных почв. Почвообразующие породы представлены песчаными и супесчаными моренами, местами озёрно-ледниковыми песками и суглинками.

Исследовалась пространственная вариабельность различных почвенных горизонтов. Исследования проводились на территории площадью 1 км². Использовались данные почвенной съемки. Разрезы были заложены по случайно-регулярной сетке с шагом 100 м. Всего было заложено 95 разрезов. В каждой точке опробования записывались координаты точки, высота, мощность горизонтов, а также из каждого горизонта были отобраны образцы для последующего анализа. В полученных образцах определялись плотность, влажность, рН_{KCl}

и содержание органического углерода. По имеющимся результатам для каждого профиля были рассчитаны запасы органического углерода в слое 0–50 см.

Проводился классический статистический анализ выборки, сравнительный анализ группы выборок, корреляционный и регрессионный анализ [3]. Пространственная изменчивость почвенных показателей была исследована с помощью геостатистических методов: анализа вариограмм и различных видов кригинга [2].

В результате анализов было установлено, что среднее содержание органического углерода в верхнем гумусовом горизонте А составило 3,26 %. Минимальные значения содержания органического углерода были отмечены в горизонте Е: среднее значение 0,44 %. Наибольшие значения содержания органического углерода наблюдались в торфяном горизонте Т и в подстилке О. В образцах из лесной подстилки наблюдался большой разброс значений: от 11,20 % до 46,69 %. Возможно, это связано с тем, что мощность подстилки также достаточно сильно варьирует (от 2 до 10 см), и в маломощной подстилке содержится существенная примесь минерального материала.

Пороговая величина коэффициента вариации в 25 % обычно рассматривается как разделяющая однородные и неоднородные в отношении того или иного свойства участка. По этому показателю все горизонты минеральных почв являются неоднородными по содержанию органического углерода: коэффициент вариации более 30 %. Для торфяных горизонтов этот показатель не превышает 5 %.

Для оценки закономерностей пространственной variability использовался метод вариографии. Построение картограмм содержания органического углерода проводилось методами ординарного, регрессионного, индикаторного и логнормального кригинга.

Горизонты А, В и лесная подстилка равномерно распределены в пределах участка. Анализ вариограмм показал, что содержание органического углерода в этих горизонтах слабо пространственно зависимо. Что касается горизонтов Е и Т, можно выделить лишь отдельные «пятна», где эти горизонты существуют. Сравнение вероятностных карт существования горизонтов и схем пробоотбора показало, что в отдельные контуры попадает от 2 до 5 разрезов. Этого недостаточно для проведения кригинга.

Более информативной величиной являются запасы органического углерода. Запасы могут служить основой для подведения баланса углерода в экосистемах и определения эмиссионного потенциала почвы. Поэтому дополнительно нами было исследовано пространственное варьирование запасов органического углерода. Запасы вычислялись для слоя 0–50 см.

Запасы органического углерода варьируют в значительных пределах: от 31,26 т/га в дерново-подзолах до 694,31 т/га в торфяных олиготрофных глеевых почвах. Средние запасы – 139,68 т/га, коэффициент вариации – 74,0 %. Анализ вариограмм по направлениям показал, что имеется явно выраженная анизотропия в пространственном распределении запасов углерода. С одной стороны, это периодические изменения в направлении поперек гряд, с другой стороны – псевдопериодическое изменение в направлении, перпендикулярном ручью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-17-01293, полевые работы) и в рамках государственного задания FMEN 2022-0012 (обработка результатов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Карельской АССР. М.: ГУГК СССР, 1989. 40 с.
2. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика. Теория и практика. М.: Наука, 2010. 328 с.
3. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 318 с.
4. Yigini Y., Panagos P. Reference area method for mapping soil organic carbon content at regional scale // Procedia Earth and Planetary Science. 2014. Vol. 10. P. 330–338.

СЕКЦИЯ

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БУРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТЕТРАЦИКЛИНАМИ

Акименко Ю.В.

*Южный федеральный университет, Академия биологии
и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону,
jvakimenko@sfedu.ru*

В последние десятилетия антибиотики в огромных масштабах используются в животноводстве и растениеводстве не только для лечения и профилактики инфекционных заболеваний, но и в качестве стимуляторов роста [8]. Антибиотики, присутствуя в окружающей среде оказывают влияние на активность, функционирование и в целом, структуру микробных сообществ, рост и развитие растений и другие организмы. Кроме того, отмечается возможность передачи генов устойчивости к антибиотикам через сельскохозяйственную продукцию, что представляет потенциальный риск для здоровья людей во всем мире [6, 7].

Лесные почвы Кавказа обладают неоспоримым превосходством даже над богатейшими черноземами в отношении пригодности для выращивания эфиромасличных культур (роза и кукуруза. В условиях Черноморского побережья бурые лесные почвы интенсивно используют под чай и субтропические плодовые культуры.

Тетрациклины (ТЦ) по масштабам применения занимают одно из первых мест среди других антибиотиков. Они широко используются как в медицине, так и в сельском хозяйстве. Концентрация тетрациклинов в почвах колеблется от 2,8 до 243 мкг/кг. Тетрациклины достаточно стабильны в почве, период их полураспада составляет около 100 суток [10].

Образцы бурой лесной кислой почвы (п. Никель, респ. Адыгея) отбирали из верхнего слоя 0–10 см, т. к. буроземы обладают высокой биологической активностью в верхнем горизонте с резким снижением ее вниз по профилю. В лабораторных условиях проведено моделирование загрязнения бурой лесной кислой почвы антибиотиками тетрациклиновой группы (тетрациклином, окситетрациклином) в концентрациях 1, 10, 100 и 1000 мг/кг почвы. Антибиотики и концентрации выбраны по результатам ранее проведенных исследований [1–3]. Почву инкубировали в вегетационных сосудах в 3-кратной повторности при температуре 20–22 °С и весовой влажности почвы 25 %. Биологическую активность оценивали через 30 суток после загрязнения с помощью методов, широко используемых в экологии и почвоведении [5]. Установлено, что биологические показатели почвы являются более чувствительными и информативными по сравнению с другими свойствами почвы и первыми реагируют на загрязнение [9]. В качестве показателей биологической активности использовали общую численность бактерий, активность ферментов класса гидролаз (каталаза, дегидрогеназы),

длину корней редиса сорта «Французский завтрак». Использованный набор показателей, в целом, дает интегральную характеристику экологического состояния почвы, в связи с чем на их основе рассчитывали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почв [4, 5, 9]. Оценку устойчивости бурой лесной кислой почвы к загрязнению тетрациклинами проводили по шкале изменения показателя относительно контроля [9].

В результате проведенных исследований установлено достоверное снижение биологической активности бурой лесной кислой почвы при загрязнении тетрациклинами в концентрациях 10, 100 и 1000 мг/кг, при загрязнении в концентрации 1 мг/кг наблюдается стимулирующий эффект воздействия на общую численность бактерий и длину корней редиса. Установлена прямая зависимость между содержанием в почве тетрациклинов и степенью снижения биологических показателей. По степени информативности (по тесноте корреляции между показателем и содержанием в почве ТЦ) биологические показатели бурой лесной кислой почвы образуют ряд: активность дегидрогеназ ($r = -0,82$, $\alpha = 0,05$) \geq активность каталазы ($r = -0,80$, $\alpha = 0,05$) $>$ длина корней редиса ($r = -0,71$, $\alpha = 0,05$) $>$ общая численность бактерий ($r = -0,60$, $\alpha = 0,05$).

По степени чувствительности биологические показатели (по степени снижения показателя в вариантах с загрязнением по сравнению с контролем) бурой лесной кислой почвы образуют ряд: активность дегидрогеназ (76) $>$ общая численность бактерий (81) $>$ активность каталазы (85) $>$ длина корней редиса (92).

На основе изменения ИПБС бурой лесной кислой почвы окситетрациклин обладает более выраженным токсическим воздействием на биологические показатели (снижение на 22 % от контроля), чем тетрациклин (снижение на 11 % от контроля). Таким образом, загрязнение ТЦ в высоких концентрациях (1000 мг/кг) приводит к нарушению химических, биохимических, физико-химических и целостных функций бурой лесной кислой почвы.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых – кандидатов наук (МК 2085.2022.1.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Акименко Ю.В. Влияние фармацевтических антибиотиков на динамику численности почвенных микроорганизмов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 5 (183). С. 63–68.
2. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние разных способов стерилизации на биологические свойства чернозема обыкновенного // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 721.
3. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Минникова Т.В. Оценка устойчивости экологических функций почв к загрязнению антибиотиками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2–2. С. 207–210.
4. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука. 1990. 261 с.
5. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. 356 с.
6. Boxall A., Johnson P., Smith E., Sinclair C., Stutt E., Levy L. Uptake of veterinary medicines from soils into plants // J. Agric. Food Chem. 2006. 54, 2288–2297. <https://doi.org/10.1021/jf053041t>.
7. Jechalke S., Heuer H., Siemens J., Amelung W., Smalla K. Fate and effects of veterinary antibiotics in soil // Trends in Microbiology 2014. V. 22 (9). P. 536–545. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.05.005>.
8. Klein E.Y., Van Boeckel T.P., Martinez E.M., Pant S., Gandra S., Levin S.A., Goossens H., Laxminarayan R. Global increase and geographic convergence in antibiotic consumption between 2000 and 2015 // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018. V. 115 (15).
9. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Y.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters // Environ. Monit. Assess. 2019. 191: 544.
10. Li Y.W., Wu X.L., Mo C.H., Tai Y.P., Huang X.P., Xiang L. Investigation of Sulfonamide, Tetracycline, and Quinolone Antibiotics in Vegetable Farmland Soil in the Pearl River Delta Area, Southern China // J. Agr. Food Chem. 2011. V. 59. 7268–7276.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ВЫРУБОК

Бондаренко Н.Н., Лаптева Е.М., Кызьюрова Е.В.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, BondNikropolNik@mail.ru

Комплекс водорастворимых органических соединений (ВОС) является наиболее динамичным компонентом (активная фракция) почвенного органического вещества и чутко реагирует на изменение функционирования почв и экосистем в целом [1]. Состав ВОС зависит от типа доминирующей растительности, химического состава поступающих напочвенных растительных остатков и условий их разложения [2, 12], разнообразия и периода активности почвенного зоомикробного комплекса [6]. Несмотря на большое количество работ отечественных и зарубежных авторов, исследование поведения ВОС почв в изменяющихся условиях среды остаются малоизученным аспектом [11].

Цель работы – выявить особенности изменения состава водорастворимых низкомолекулярных органических соединений подстилочно-торфяных горизонтов хронологического ряда вырубок в зависимости от подгоризонта лесной подстилки.

Объектами исследования послужили почвы коренного ельника чернично-зеленомошного (ПП-1) и произвольных разновозрастных лиственнично-хвойных биоценозов, сформировавшихся после сплошнолесосечных рубок ельников чернично-зеленомошных в зимний период, на момент исследования 12 лет (ПП-2) и 43 года (ПП-3). При проведении рубок напочвенный покров не был поврежден. Более детальная характеристика объектов исследования представлена в работе [8].

Анализировали смешанные образцы изучаемых объектов, отобранные на ключевых участках в 8–10-кратной повторности. Актуальную кислотность измеряли потенциометрически на иономере «Анион-4100». Содержание органического углерода $\omega(C_{\text{орг}})$ и азота $\omega(N_{\text{орг}})$ в почвенных образцах определяли на CNHS-анализаторе EA 1110 (Carlo-Erba, Италия) в соответствии с аттестованными методиками количественного химического анализа No 88-17641-94-2009, 88-17641-116-01.00076-2011. Массовую долю углерода $\omega(C_{\text{вос}})$ в водных вытяжках определяли методом высокотемпературного каталитического окисления на анализаторе общего углерода ТОС VCPH при соотношении почва : вода 1 : 25. Массовую концентрацию низкомолекулярных органических веществ оценивали методом газовой хроматографии и хромато-масспектрометрии (ГХ/МС) (относительная погрешность измерения менее 3 %) [9, 10].

Результатом замены природных биогеоценозов агроценозами является изменение состава почвенного органического вещества [5], структуры растительных сообществ и характеристик опада [3], физико-химических показателей почв и прилегающих водостоков [4]. Тем не менее участки со схожим химическим составом растительных остатков – ПП-1 и ПП-2 (хвойный опад и продукты деструкции мхов), имеют близкие значения показателей pH водной вытяжки, $\omega(N)_{\text{общ}}$, % и $\omega(C)_{\text{вос об}}$ (холодная вытяжка) (табл. 1). Участок ПП-3 характеризуется грубо гумусной подстилкой, основу которой составляют листовые пластинки осины и березы, находящиеся на разных стадиях разложения, что обуславливает снижение кислотности лесной подстилки, так же отмечается увеличение общей доли углерода и азота органических соединений. По абсолютному содержанию $\omega(C)_{\text{вос об}}$ лесные подстилки ключевых участков относятся к категории почв с высоким содержанием ВОС [7]. Для всех исследуемых подстилок вниз по профилю характерно снижение доли углерода водорастворимых органических соединений. Отношение $\omega(C)_{\text{вос об}}$, % горячей к $\omega(C)_{\text{вос об}}$, % холодной вытяжек возрастает с глубиной, что указывает на большую степень разложенности органических остатков. Это наиболее четко прослеживается на участках ПП-1 и ПП-2 с преобладанием хвойного опада устойчивого к разложению [2]. Показатель $\omega(C)_{\text{вос ид}}$, % на участке ПП-3 выше по сравнению с ПП-1 и минимален на участке молодой вырубки (ПП-2).

Таблица 1. Показатели лесных подстилок

Участок, горизонт	pH _{водн}	$\omega(N)_{\text{общ}} \% \pm \Delta$	$\omega(C)_{\text{общ}} \% \pm \Delta$	Содержание углерода водных вытяжек				
				Холодная вытяжка $\omega(C)_{\text{ВОС об.}} \% \pm \Delta$ г/кг	Горячая вытяжка $\omega(C)_{\text{ВОС об.}} \% \pm \Delta$ г/кг	$\omega(C)_{\text{ВОС об.}} \%$ горячая / $\omega(C)_{\text{ВОС об.}} \%$ холодная	$\omega(C)_{\text{ВОС иль.}} \% \pm \Delta$ мг/кг	
ПП-1	O ₁	4,46	1,65 ± 0,18	40,5 ± 1,4	12,1 ± 1,0	26,0 ± 2,0	2,1	72,4 ± 2,2
	O ₂	3,82	1,67 ± 0,18	42,8 ± 1,4	6,7 ± 0,5	20,2 ± 1,8	2,9	72,7 ± 2,2
	O ₃	3,65	1,42 ± 0,16	30,7 ± 1,1	5,6 ± 0,4	19,7 ± 1,6	3,6	28,8 ± 0,9
ПП-2	O ₁	3,90	1,60 ± 0,18	43,2 ± 1,5	11,4 ± 0,9	19,3 ± 1,5	1,7	32,6 ± 1,0
	O ₂	3,91	1,70 ± 0,19	45,6 ± 1,6	7,5 ± 0,6	20,0 ± 1,6	2,6	38,2 ± 1,1
	O ₃	3,58	1,44 ± 0,16	45,5 ± 1,6	5,1 ± 0,4	17,7 ± 1,4	3,5	25,9 ± 0,8
ПП-3	O ₁	5,73	1,86 ± 0,20	47,8 ± 1,7	10,5 ± 0,8	20,8 ± 1,6	2,0	106,9 ± 3,2
	O ₂	5,48	2,06 ± 0,23	47,2 ± 1,7	8,4 ± 0,7	22,1 ± 1,8	2,6	105,7 ± 3,2
	O ₃	4,46	1,94 ± 0,21	39,6 ± 1,4	9,6 ± 0,8	25,2 ± 2,0	2,7	106,4 ± 3,2

Качественный и количественный состав идентифицированных компонентов ВОС определяется условиями их экстракции и методом идентификации [10, 11]. Использование методов газовой хроматографии и хромато-масс-спектрологии позволяет идентифицировать 30 низкомолекулярных водорастворимых компонентов комплекса ВОС: 14 низкомолекулярных органических кислот (НМОК), 11 углеводов, 5 спиртов. Основную долю углерода идентифицированных компонентов комплекса ВОС исследуемых объектов составляют сахара, в частности гексозы (табл. 2).

Таблица 2. Доля идентифицированных компонентов групп ВОС от общего содержания ВОС, %

Идентифицированные группы		ПП-1			ПП-2			ПП-3		
		O ₁	O ₂	O ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₁	O ₂	O ₃
Кислоты	Незамещенные	0,19	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	1,56	0,55	0,53
	Замещенные	28,08	14,71	13,40	17,62	28,50	12,91	21,94	13,31	19,47
	Сумма	28,27	14,71	13,59	17,62	28,50	12,91	23,49	13,86	20,00
Сахара	Пентозы	14,16	7,08	15,05	17,77	6,03	17,62	8,76	7,19	11,06
	Гексозы	39,55	59,90	52,49	45,17	40,38	57,32	49,25	48,06	54,37
	Дисахариды	1,09	9,34	12,62	0,49	0,22	7,68	4,34	5,85	4,50
	Сумма	54,80	76,32	80,16	63,39	46,63	82,62	62,34	61,09	69,92
Спирты		16,93	8,97	6,25	18,99	24,87	4,47	14,16	25,05	10,08

В коренном ельнике (ПП-1) прослеживается снижение доли идентифицированных кислот и спиртов, при наращивании доли сахаров от O₁→O₂→O₃. На участках постантропогенного воздействия из общей картины выбивается подгоризонт ферментации. Для участка ПП-2 снижение доли кислот и спиртов от O₁ к O₃ идет через максимум их содержания в подгоризонте O₂, и увеличение доли сахаров через его минимум в O₂. На участке ПП-3 на подгоризонт O₂ приходится минимальное содержание кислот и сахаров, при максимальном содержании спиртов.

Таким образом, давность проведения рубок и сформированный напочвенный растительный покров оказывает значимое влияние на качественный и количественный состав водорастворимых компонентов почвенного органического вещества. Подгоризонт ферментации наиболее чувствителен к изменению поступающего органического вещества и условий их разложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Н.Н., Лаптева Е.М., Кызьюрова Е.В., Новаковский А.Б. Влияние погодных условий на состав водорастворимых органических соединений в подзолистых почвах средней тайги: мат. XVI Всерос. научно-практической конф. с международным участием (Киров, 27–28 апреля 2021 г.). Киров, 2021. С. 395–398.

2. *Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Метелева М.К.* Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах // Лесоведение. 2018. № 1. С. 24–36.
3. *Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А.* Растительный опад в коренном ельнике и лиственнно-хвойных насаждениях // Лесной журнал. 2012. № 3. С. 7–18.
4. *Дымов А.А.* Химический состав водотоков в коренном еловом и производном лиственнно-хвойном лесах // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 97–101.
5. *Лантева Е.М., Бондаренко Н.Н.* Изменение гумусного состояния среднетаёжных подзолистых почв под влиянием сплошнолесосечных рубок // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 34–43.
6. *Луценко Т.Н., Аржанова В.С., Ким Н.Ю.* Трансформация растворенного органического вещества почвы на вырубках пихтово-елового леса (Приморский край) // Почвоведение. 2006. № 6. С. 674–680.
7. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С.* Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
8. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубков (подзона средней тайги). Сыктывкар, 2007. 84 с.
9. *Шамрикова Е.В.* Кислотность почв таёжной и тундровой зон европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 157 с.
10. *Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В., Ванчикова Е.В., Ветошкина А.А.* Качественный анализ водных вытяжек из подзолистых почв Республики Коми на содержание органических соединений хромато-масс-спектроскопическим методом // Вода: химия и экология. 2011. № 11. С. 58–63.
11. *Karavanova E.I.* Dissolved organic matter: Fractional composition and sorbability by the soil solid phase (Review of literature) // Eurasian Soil Sci. 2013. Т. 46, № 8. С. 833–844. DOI: 10.7868/S0032180X13080042.
12. *Uroz S., Buee M., Deveau A., Mieszkin S., Martin F.* Ecology of the forest microbiome: Highlights of temperate and boreal ecosystems // Soil Biol. Biochem. 2016. Vol. 103. P. 471–488.

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ГИДРОФОБНОСТЬ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

Гончаров Н.В., Прокофьева Т.В., Потапов Д.И.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, goncharov7991@gmail.com

В настоящее время деятельность человека приводит к активному изменению природной среды. Лесные почвы городов и прилегающих к ним территорий находятся под воздействием твердых атмосферных выпадений (ТАВ), частиц различного состава и генеза, образующихся в результате деятельности городского хозяйства и транспорта. Подобные частицы могут являться причиной изменения гидрофобно-гидрофильных свойств почв. Из-за увеличения гидрофобности почвенных агрегатов, почва имеет низкую водопроницаемость и практически не увлажняется, что приводит к деградации растительного покрова [1].

Цель работы – исследовать связь гидрофобизации дерново-подзолистых почв с интенсивностью пыленакопления.

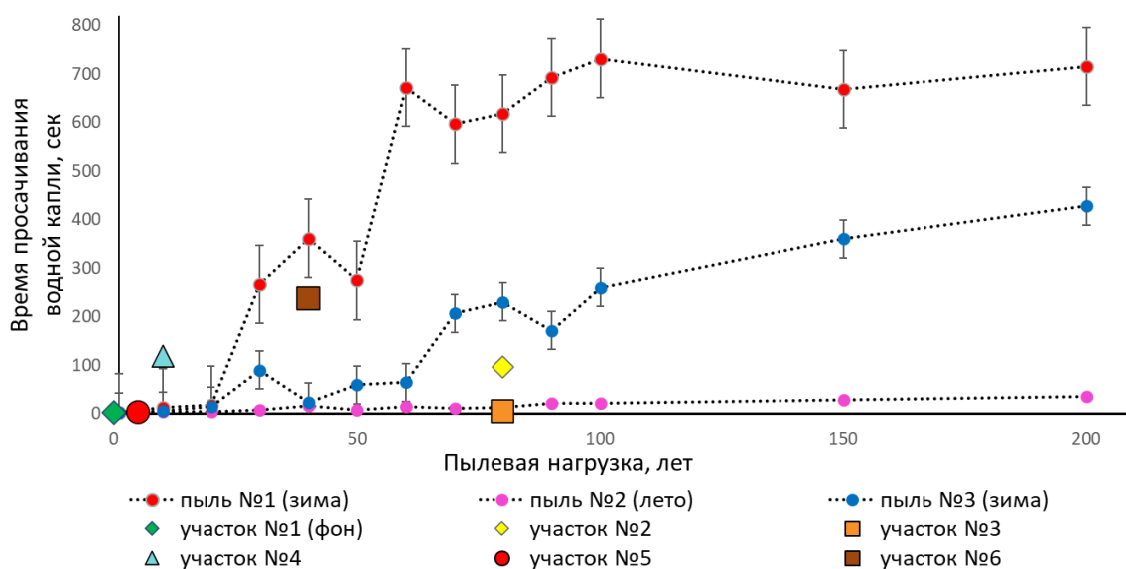
Объект исследования – дерново-подзолистые почвы Московской области (как самые распространенные почвы Московского региона), выступающие фоновыми, и почвы Москвы, где раньше в почвенном покрове преобладали дерново-подзолистые почвы и которые отличаются по времени нахождения в черте города, типу функционального использования. Для проверки влияния ТАВ на гидрофобность почв на территории Москвы были собраны 3 образца смётов дорожной пыли из разных транспортных зон в разное время года. Предмет исследования – гидрофильно-гидрофобные свойства почв.

Для исследования гидрофобности был использован метод просачивания водной капли [4]. Определение объемной магнитной восприимчивости почв для характеристики интенсивности антропогенной нагрузки определялось каппаметром КТ-5. Лабораторное определение массовой доли органического вещества, рН водной вытяжки, концентрации нефтепродуктов проводилось с помощью стандартных методик.

Помимо определения гидрофобности верхних горизонтов почв ключевых участков, был поставлен модельный опыт. На фоновом участке из горизонта 0–10 см отбирались образцы почв, определялись влажность и объемная масса. Зная среднегодовую аэральную нагрузку [3], рассчитывались объемы пыли для моделирования аэрального загрязнения в слое 10 см при плотности верхнего горизонта соответствующей плотности фоновой почвы. Были взяты следующие градации – 10, 20, 30, 40, 50, 70, 80, 90, 100, 150, 200 лет. После просеивания почвы с помощью 2 мм сита происходило ручное перемешивание проб и доведение их до воздушно-сухого состояния.

Химический анализ смётов показал, что пыль с наибольшей степенью гидрофобности (№ 1) имеет наибольшую массовую долю органического вещества. Для других образцов подобной тенденции не выявляется. Слабая степень гидрофобности образца № 2 объясняется наибольшей среди других кислотностью и наибольшей концентрацией силикатов. Количество нефтепродуктов не продемонстрировало никакой взаимосвязи с водоотталкивающей способностью.

Моделирование загрязнения почв (рис.) показало, что для всех типов пыли нагрузки, соответствующие запылению до 0–30 лет не оказывают значимого влияния на степень гидрофобности почвы. Для пыли № 1 (зима) наблюдается резкий рост для периода 30–60 лет. После дальнейшего добавления доз, наблюдается существенное снижение интенсивности роста показателя. Для пыли № 2 (лето), наблюдается устойчивый, но постепенный рост гидрофобности, не изменяющий своего тренда даже после добавления количества пыли, аналогичного 200-летнему загрязнению. Для пыли № 3 (зима) добавление массы пыли приводит к равномерному увеличению степени гидрофобности с тенденцией к постепенному затуханию интенсивности роста показателя.



Кривые времени просачивания водной капли
в сравнении с некоторыми участками городских почв

Результаты химического анализа образцов почв ключевых участков не выявили достоверной связи между гидрофобностью и содержанием органического вещества, рН и содержанием нефтепродуктов. Данный факт можно объяснить совокупным действием почвенных свойств, в том числе разными характеристиками органического вещества городских свойств.

Показатели гидрофобности верхних горизонтов почв были очень различны. Почвы участков, находящиеся в селитебных и транспортных зонах (№ 6 и № 7), имеющие большую историю в черте города, показывают наибольшую степень гидрофобности (участок № 7 отсутствует на графике, так как имеет в несколько раз большие значения WDPT-теста, не укладывающиеся в мерную шкалу графика). Также, регулярное внесение компостных смесей может приводить как к увеличению (№ 4), так и к уменьшению (№ 5) водоотталкивающей способности в зависимости от характеристик органического вещества в них. Увеличение гидрофобности также может быть связано с количеством подстилки в образце (№ 2).

Результаты моделирования показали, что концентрация ТАВ влияет на степень гидрофобности почвы. При этом имеет значение гранулометрический состав ТАВ, а также количество и характер органического вещества образца и ТАВ. Данные результаты также косвенно подтверждают гипотезу о том, что материал пылевых выпадений является одним из источников для формирования поверхностных горизонтов городских почв [2]. Сравнение гидрофобности модельных почв определенного возраста запыления с образцами реальных почв, отобранных с городских участков разного возраста застройки, показало в ряде случаев их схожесть. Однако при работе с реальными почвами не менее важным становится информация об истории, типе использования участка, его расположении относительно источников запыления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Архипова Л.В., Кормилицына О.В., Бондаренко В.В. и др.* Проблемы с гидрофобностью почвы и пути их решения // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2007. № 7.
2. *Прокофьева Т.В., Шишков В.А., Кирюшин А.В. и др.* Свойства твердых (пылеаэрозольных) атмосферных выпадений придорожных территорий г. Москвы // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 3. С. 107–120.
3. *Самаев С.Б., Морозова И.А., Якубов Х.Г.* Влияние магистралей на состояние прилегающих территорий // Экология большого города. Альманах. 2001. № 5. С. 49–54.
4. *Bachmann J. et al.* Modified sessile drop method for assessing initial soil–water contact angle of sandy soil // Soil Science Society of America Journal. 2000. Т. 64, № 2. С. 564–567.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ (РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СЖИГАНИЮ)

Горбач Н.М.^{1,2}, Яковлева Е.В.², Дымов А.А.^{1,2,3}

¹ СГУ им. Питирими Сорокина, Сыктывкар, nikolay.tbo@gmail.com

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, kaleeva@ib.komisc.ru

³ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, aadymov@gmail.com

Лесные пожары являются одним из основных факторов, влияющим на бореальные леса [7]. Огромную роль в круговороте веществ в бореальной зоне играют почвы [1]. При низовых пожарах органический материал верхних подгоризонтов почв часто горит (тлеет) в условиях недостаточного доступа кислорода, в результате чего из сгоревшего материала образуются полициклические ароматические углеводороды (полиарены или ПАУ) [4]. Полиарены представляют собой одни из наиболее экологически опасных загрязнителей, так как характеризуются высокой химической стабильностью и являются канцерогенными, тератогенными и мутагенными веществами [8].

Исследования проводились на Северо-Востоке европейской территории России в подзоне средней тайги Республики Коми. Для отбора проб были выбраны два широко представленных

типов леса – сосняк лишайниковый (61°67' с.ш. 51°06' в.д.) и ельник зеленомошный (61°66' с.ш. 50°69' в.д.), представленные ассоциациями *Flavocetrario-Pinetum* и *Piceetum hylocomium*, соответственно. Разделение подстилок на подгоризонты проводили согласно Богатыреву и др. [2]. Подгоризонт О(L) для каждого из лесных подстилок был разобран на фракции для выявления массовой доли отдельных органических компонентов. Как правило, в бореальном лесном массиве существует три отдельных органогенных подгоризонта: один из свежего опада листьев, хвои, веток и пр. О(L); под ним находится частично разложившийся (ферментированный) слой О(F); и ниже расположен темноокрашенный хорошо разложившийся гумусированный слой О(H). Образцы органогенных горизонтов после разделения на подгоризонты были гомогенизированы и просеяны через сито с диаметром ячеек 2 мм и хранились при комнатной температуре до проведения эксперимента. Подробно условия проведения эксперимента описаны ранее в работе Gorbach et al. [5]

Для полного извлечения ПАУ из органогенных горизонтов использовали систему ускоренной экстракции растворителями ASE-350 (Thermo Fisher Scientific, США) в ЦКП «хроматография» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Было определено содержание 14 индивидуальных ПАУ.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программных пакетов Excel 2010 (Microsoft, США) и STATISTICA 10.0 (Stat. Soft Inc., США).

В рамках исследования установлено, что суммарное содержание ПАУ в исходных образцах выше в ферментированных и гумусированных подгоризонтах. В исходных образцах сосняка лишайникового содержание ПАУ равно 339 и 784 нг/г в О(L) и О(F + H), соответственно. В ельнике зеленомошном исходные образцы содержат 112, 304 и 682 нг/г в О(L), О(F) и О(H), соответственно. Выявлено, что влияние условий горения и состава сгораемого органического вещества в значительной степени влияют на формирование ПАУ. В результате сравнения исходных образцов органогенных горизонтов (25 °С) и образцов, подвергшихся влиянию высоких температур (200, 300 и 500 °С), выявлены значительные изменения в содержании и составе ПАУ. Для всех образцов выявлено резкое повышение содержания ПАУ при 300 °С, и дальнейшее снижение к 500 °С. Воздействие температуры в 300 °С привело к повышению содержания полиаренов во всех органогенных горизонтах (с преобладанием «легких» ПАУ). В сосняке лишайниковом максимальное содержание ПАУ равняется 2072 и 2119 нг/г в О(L) и О(F + H), соответственно. В ельнике зеленомошном в подгоризонтах О(L), О(F) и О(H) максимальное содержание ПАУ равняется 986, 1024 и 1868 нг/г, соответственно. Вероятно, разложение естественных биополимеров в условиях высокой температуры и недостатка кислорода привело к образованию большего количества ПАУ [4]. Можно предположить, что уменьшению содержания ПАУ при 500 °С способствовала минерализация [3] и улетучивание [6] полиаренов, включая термическое разложение более «тяжелых» ПАУ.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 19-29-05111 мк и в рамках бюджетной темы ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН 122040600023-8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахмет О.Н. Запасы углерода в почвах сосновых и еловых лесов Карелии // Лесоведение. 2018. № 1. С. 48–55. <https://doi.org/10.7868/S0024114818010047>.
2. Богатырёв Л.Г., Демин В.В., Матышаков Г.В., Сапожникова В.А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С. 17–29.
3. Dymov A.A., Startsev V.V., Milanovsky E.Y., Valdes-Korovkin I.A., Farkhodov Y.R., Yudina A.V., Guggenberger G. Soils and soil organic matter transformations during the two years after a low-intensity surface fire (Subpolar Ural, Russia) // Geoderma. 2021. Т. 404. С. 115–278. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115278>.
4. Gennadiev A.N., Tsibart A.S. Pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of reserved and anthropogenically modified areas: factors and features of accumulation // Eurasian Soil Science. 2013. Т. 46. С. 28–36. <https://doi.org/10.1134/S106422931301002X>.

5. Gorbach N., Startsev V., Mazur A., Milanovskiy E., Prokushkin A., Dymov A. Simulation of Smoldering Combustion of Organic Horizons at Pine and Spruce Boreal Forests with Lab-Heating Experiments // Sustainability. 2022. Т. 14, № 24. С. 16772. <https://doi.org/10.3390/su142416772>.

6. Harper A.R., Santin C., Doerr S.H., Froyd C.A., Albini D., Otero X.L., Pérez-Fernández B. Chemical composition of wildfire ash produced in contrasting ecosystems and its toxicity to *Daphnia magna* // International Journal of Wildland Fire. 2019. Т. 28, № 10. С. 726–737. <https://doi.org/10.1071/WF18200>.

7. Santin C., Doerr S.H. Fire effects on soils: the human dimension // Phil. Trans. R. Soc. B. 2016. Т. 371. С. 20150171. <http://doi.org/10.1098/rstb.2015.0171>.

8. Yakovleva E.V., Gabov D.N., Vasilevich R.S., Goncharova N.N. Participation of plants in the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in peatlands // Eurasian Soil Science. 2020. Т. 53. С. 317–329. <https://doi.org/10.1134/S1064229320030102>.

ЛИГНОСУЛЬФОНАТ НАТРИЯ В СМЕСИ С СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВОЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Дорогая Е.С.¹, Сулейманов Р.Р.^{2,3}, Миннегалиев А.О.², Юркевич М.Г.³, Бахмет О.Н.³

¹ Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, ekaterina.s.dorogaya@gmail.com

² УУНУТ, Уфа, soils@mail.ru, minnegaliev.aleksandr@rambler.ru

³ Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, Петрозаводск, svirinka@mail.ru, obahmet@mail.ru

Потери верхнего почвенного слоя, изменение климата, постоянный рост населения и отчуждение земель в сельскохозяйственный фонд приводят ко все более возрастающей нагрузке на природные экосистемы [9, 11]. Для смягчения последствий влияния человека на окружающую среду необходимо интенсивно восстанавливать утраченные плодородные территории. Большой потенциал в этом отношении имеет рекультивация заброшенных карьеров и техногенно-нарушенных участков [6, 10]. При восстановлении таких деградированных территорий наиболее эффективной стратегией является нанесение почвенного покрова и насаждение растительности на рекультивируемых участках [4]. Нехватка достаточного количества плодородной почвы для покрытия рекультивируемой поверхности является одной из часто встречающихся проблем, особенно в засушливых и горных регионах [8].

В данном исследовании было предложено использование лигносульфоната натрия (ЛН) [1, 2] – отхода целлюлозно-бумажного производства, для создания почвоподобных тел с заданными свойствами, которые затем можно было бы использовать при рекультивации техногенно-нарушенных территорий как добавку к наносимому почвенному покрову. Предполагается, что подобные почвенные тела могут снизить количество плодородной почвы, необходимой для покрытия рекультивированных участков, а также повысить агрохимические и физические свойства новых почв.

Использование ЛН имеет следующие преимущества:

1. ЛН, как и почва ненарушенных участков, имеет в своем составе органический углерод, питательные вещества, микроэлементы [1, 2];
2. ЛН проявляет противоэрозионную устойчивость [3];
3. ЛН имеет сорбционную способность к тяжелым металлам и сможет подавлять токсическое действие материала карьера [7].

Серая лесная почва при использовании в качестве матрицы для внесения ЛН способствует снижению негативного влияния ЛН на окружающую среду, позволяет увеличить биологическую доступность компонентов из ЛН и является наиболее доступной для использования среди других видов почв. Дополнительно улучшить смесь ЛН с серой лесной почвой можно путем внесения минеральных удобрений и/или микроорганизмов, а также компостированием [5, 12].

Компостирование смесей с ЛН способствует увеличению биодоступности питательных веществ из ЛН вследствие постепенной деструкции органического вещества ЛН, что благоприятно влияет на питание растительных сообществ.

Таким образом, использовании почвоподобных тел на основе ЛН и серой лесной почвы:

1. Будет способствовать снижению необходимого для рекультивации количества плодородной почвы;
2. Улучшит агрохимический состав новых почв за счет большого содержания органического вещества в ЛН;
3. Снизит эрозионное воздействие на новые почвы, за счет высокой вязкости ЛН и действия его как структурообразователя;
4. Уменьшит токсическое влияние материала карьера, что благотворно скажется на дальнейшем развитии растительных сообществ;
5. Будет способствовать утилизации отходов целлюлозно-бумажного производства и снижению негативного воздействия их хранения на окружающую среду.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-16-00145 «Перспективы использования отходов целлюлозно-бумажной промышленности для повышения плодородия почв и урожайности агрокультур».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ерошина Д.М.* Лигнин – образование, использование, хранение, воздействие на окружающую среду // Экологический вестник. 2010. № 3. С. 109–118.
2. *Ariyanta H.A., Sari F.P., Sohail A., Restu W.K., Septiyanti M., Aryana N., Fatriasari W., Kumar A.* Current roles of lignin for the agroindustry: Applications, challenges, and opportunities // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. Vol. 240. 124523. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124523>.
3. *Barbieri D.M., Hoff I., Mørk M.B.E.* Organosilane and lignosulfonate as innovative stabilization techniques for crushed rocks used in road unbound layers // Transportation Geotechnics. 2020. Vol. 22. 100308. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100308>.
4. *Gentili R., Casati E., Ferrario A., Monti A., Montagnani Ch., Caronni S., Citterio S.* Vegetation cover and biodiversity levels are driven by backfilling material in quarry restoration // CATENA. 2020. Vol. 195. 104839. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104839>.
5. *Lu J., Cheng M., Zhao Ch., Li B., Peng H., Zhang Y., Shao Q., Hassan M.* Application of lignin in preparation of slow-release fertilizer: Current status and future perspectives // Industrial Crops and Products. 2022. Vol. 176. 114267. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114267>.
6. *Mukhopadhyay S., Maiti S.K., Masto R.E.* Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study // Ecological Engineering. 2014. Vol. 71. P. 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.001>.
7. *Sobek S., Tran Q.K., Junga R., Sajdak M., Werle S.* Comparative assessment of liquid product from hydrothermal treatment of lignosulfonate in batch and nozzle reactors for aromatic compounds recovery // Biomass and Bioenergy. 2023. Vol. 172. 106768. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106768>
8. *Soliveres S., Gutiérrez-Acevedo E., Moghli A., Cortina-Segarra J.* Effects of early irrigation and compost addition on soil and vegetation of a restored semiarid limestone quarry are undetectable after 13 years // Journal of Arid Environments. 2021. Vol. 186. 104401. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.10440>.
9. *Stockmann U., Minasny B., McBratney A.B.* Monitoring changes in global soil organic carbon stocks from space // Remote Sensing of Environment. 2022. Vol. 281. 113260. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113260>.
10. *Sullivan J., Aggett J., Amacher G., Burger J.* Financial viability of reforesting reclaimed surface mined lands, the burden of site conservation costs, and carbon payments as reforestation incentives // Resources Policy. 2006. Vol. 30. P. 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2006.03.001>.
11. *Wang J., Zhen J., Hu W., Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M., Yang Xi.* Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective // International Soil and Water Conservation Research. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>.
12. *Wang W., Hou Y., Huang W., Liu X., Wen P., Wang Y., Yu Zh., Zhou S.* Alkali lignin and sodium lignosulfonate additives promote the formation of humic substances during paper mill sludge composting // Bioresource Technology. 2020. 124361. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124361>.

ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИЙ В БУРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТАЛЛИЕМ

Евстегнеева Н.А., Тимошенко А.Н., Колесников С.И.

Академия биологии и биотехнологии ЮФУ, Ростов-на-Дону, evstegneeva@sfnedu.ru

Бурые лесные почвы Кавказа являются одними из самых уязвимых почв Юга России. Они относятся к наиболее распространенным почвам в зоне влияния предприятий горнодобывающего и перерабатывающего комплексов.

По причине того, что основная доля загрязняющих веществ, поступающих от горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, аккумулируется в почве, она является одним из наиболее информативных объектов при экологическом мониторинге [5]. На сегодняшний день по-прежнему остро стоит вопрос об опасности загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами в связи с их высокой токсичностью и способностью к биоаккумуляции в окружающей среде [2].

Таллий (Тl) является высокотоксичным редким металлоидом, включенным в список приоритетных загрязнителей в ряде стран [3]. В связи с тем, что Тl является следовым элементом с очень низким естественным содержанием в земной коре, экологические последствия загрязнения почв таллием изучены в гораздо меньшей степени, чем в случае других токсичных элементов.

В данной работе была проведена оценка изменения общей численности бактерий в бурой лесной почве при загрязнении таллием.

Объектом исследования была выбрана бурая лесная слабонасыщенная почва, по международной номенклатуре World Reference Base for Soil Resources (WRB) – Haplic Cambisols Eutric [4]. Почва характеризуется кислой реакцией среды (pH = 5,5), низким содержанием гумуса – 4,7 % и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом. Образцы почвы были отобраны в Республике Адыгея (Майкопский район, п. Никель), вдали от основных источников загрязнения. Для модельного исследования использовали верхний слой почвы (0–20 см), так как в этих наиболее плодородных горизонтах накапливается основное количество загрязняющих веществ [1].

Таллий вносили в почву в форме оксида и нитрата в концентрации 0,5, 1, 3, 10 и 30 УДК, то есть 1,5, 3, 9, 30 и 90 фонов. Загрязнение моделировали в лабораторных условиях в течение 30 суток. Контролем служила незагрязненная почва.

В результате исследования удалось установить, что загрязнение бурой лесной почвы оксидом и нитратом Тl приводит к снижению численности бактерий по сравнению с контролем. Внесение нитрата Тl сильнее ингибирует общую численность почвенных бактерий, чем оксид.

Полученные данные служат основой для разработки региональных ПДК содержания таллия в бурой лесной почве.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-01041 в Южном федеральном университете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barsova N., Yakimenko O., Tolpeshta I., Motuzova G. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – A review. *Environmental pollution*. 2019. Vol. 249. P. 200–207. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.020.
2. Galhardi J.A., de Mello J.W.V., Wilkinson K.J. Environmental and health risk assessment of agricultural areas adjacent to uranium ore fields in Brazil. *Environmental Geochemistry and Health*. 2020, vol. 42, no. 11. PP. 3965–3981. DOI: 10.1007/s10653-020-00659-3.
3. Liu J., Luo X., Wang J., Xiao T., Chen D., Sheng G., Chen Y. Thallium contamination in arable soils and vegetables around a steel plant – A newly-found significant source of Tl pollution in South China // *Environmental pollution*. 2017. T. 224. C. 445–453.

4. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition published in 2022 by the International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022, 234 p.

5. Алборов И.Д., Тедеева Ф.Г., Гуцаев Ф.Х., Бурдзиева О.Г., Гегелашвили М.В. Влияние горнодобывающего комплекса на качество среды обитания в условиях горных территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 11–1. С. 32–39. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-32-39.

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Ершов В.В., Сухарева Т.А., Иванова Е.А.

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, Анапиты,
slavo91@gmail.com*

В Мурманской области основными источниками аэротехногенного загрязнения являются предприятия горно-металлургического комплекса, длительное воздействие со стороны которых привело к деградации экосистем на значительных по площади территориях. На северо-западе Мурманской области длительное время функционирует медно-никелевый комбинат «Печенганикель» (пгт Никель, г. Заполярный), являющийся источником поступления в атмосферу диоксида серы и полиметаллической пыли, содержащей тяжелые цветные металлы: никель, медь, кобальт, кадмий, свинец и др. В настоящее время произошло снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу вследствие закрытия плавильного цеха (пгт Никель). В этой связи актуальным является изучение функционирования и реакции северо-таежных лесов в условиях резкого снижения техногенной нагрузки.

Исследования проведены на 3 площадках интенсивного мониторинга в сосновых лесах, расположенных по градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель» (7, 14, 44 км) и 2 пробных площадок в фоновых районах Мурманской области (более 260 км от источника загрязнения). Отобраны пробы атмосферных выпадений (снег, дождь), почвы и ассимилирующие органы основной лесобразующей древесной породы – *Pinus sylvestris* L.

Показана динамика поступления поллютантов с атмосферными выпадениями, аккумуляции химических элементов в лесных растениях и почве при длительном техногенном воздействии на экосистемы и в период резкого сокращения атмосферных выбросов.

Результаты многолетних исследований в зоне воздействия медно-никелевого комбината «Печенганикель» на постоянных мониторинговых площадях свидетельствуют о значительной техногенной нагрузке на лесные экосистемы [1–4].

В сосновых лесах по градиенту атмосферного загрязнения (7, 14, 44 км) выявлено превышение фоновых концентраций тяжелых металлов (Cu, Ni, Cd, Co, Pb) и соединений серы в различных компонентах лесных биогеоценозов. Высокие концентрации тяжелых металлов в атмосферных выпадениях, почве, хвое сосны наблюдаются на расстоянии 7 и 14 км, что объясняется увеличением объема выбросов загрязняющих веществ при приближении к источнику загрязнения в период интенсивной деятельности комбината.

С 1991 по 2019 гг. в хвое сосны снизилось содержание Cd и Pb, но высокими остаются концентрации Ni в хвое сосны в 7 и 14 км от комбината. При сравнении периода активной работы комбината (2004–2005 гг.) с периодом его закрытия (2021 г.) наблюдается существенное снижение концентраций Ni, Cu, Co, Pb и Cd в атмосферных выпадениях, Cu, Co, Pb – в почве.

Данные по атмосферным выпадениям демонстрируют снижение техногенной нагрузки на лесные экосистемы в связи с закрытием плавильного цеха комбината «Печенганикель» в начальный период после сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В почве северотаежных лесов процесс загрязнения лесных подстилок продолжается, о чём свидетельствует увеличение в них концентрации никеля, который является одним из приоритетных загрязнителей и накапливался продолжительное время не только в почве, но и в древесном ярусе, растениях напочвенного покрова. Необходимо продолжать мониторинговые исследования северотаежных лесов на данной территории, что позволит выявить реакцию почвенно-растительного покрова на изменение уровня атмосферного загрязнения не только в начальный период сокращения выбросов, но и в процессе восстановления лесных экосистем в одном из наиболее промышленно развитых регионов российской Арктики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов В.В., Исаева Л.Г. Концентрации меди, никеля и серы в атмосферных выпадениях в лесах Печенгского района // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 391–394.
2. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Запоярный»): влияние на наземные экосистемы / Общ. ред. О.А. Хлебосоловой. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. С. 25–35.
3. Сухарева Т.А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях техногенного загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. № 3. С. 369–376.
4. Сухарева Т.А. Элементный состав талломов лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 70–82.

ПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ФОСФАТНОГО СОСТОЯНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Захарова О.Г., Чевычелов А.П.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск,
olya.choma@mail.ru, chev.soil@list.ru

Огонь в лесных районах распространения многолетней мерзлоты рассматривают как важный фактор, моделирующий поверхность и оказывающий влияние на геоморфологические процессы. Очевидно, с не меньшим основанием лесные пожары и вообще огонь следует включать в число важных факторов почвообразования, учет которого обязателен при рассмотрении вопросов генезиса и географии лесных почв [2]. В последнее время были достаточно полно изучены особенности фосфатного состояния мерзлотных почв Южной Якутии [3]. Также были исследованы географо-генетические особенности формирования свойств и состава оригинальных полициклических почв, формирующихся в постпирогенный период в лесах Якутии и Забайкалья [4], а вот трансформация фосфатного состояния этих уникальных почв до последнего времени не определена. В связи с этим целью представленного исследования являлась оценка фосфатного состояния данных почв как следствие их генезиса на примере бурозема типичного разр. 16-89ТУ. При этом общий фосфор определялся по методу прокаливания по Сандерсу и Вильямсу, органический Р – по разнице общего количества Р и суммарного содержания его минеральных форм, выделяемых по методике Чанга-Джексона [1].

Исследуемый разрез 16-89ТУ бурозема был заложен на территории Южной Якутии, на делювии гранито-гнейсов. Географические координаты: 58°06'30" N, 131°03'42" E, абсолютная высота – 700 м. Строение профиля: O(0–2) – AYp_{ir}(2–9) – BM(9–29) – [AYp_{ir}] (29–43) – BM(43–51) – [AYp_{ir}] (51–57) – BC_m(57–72) – CD(72–80 см). Состав и свойства данной почвы

нами были подробно изучены ранее. Здесь же отметим, что помимо современного гумусового, эта почва содержит также еще два деградированных погребенных гумусовых горизонта с обильными включениями черных древесных углей, что указывает на их пирогенный генезис в условиях полициклического почвообразования [4].

По содержанию общего, органического и минерального фосфора профиль данной почвы подразделяется на две части: верхнюю (0–40 см) и нижнюю (40–80 см). В верхней части профиля этой почвы содержится больше общего, органического и минерального фосфора, а относительное содержание данных форм Р соответственно больше и меньше, чем в нижней части. В общем составе Р исследуемого бурозема абсолютно преобладают органофосфаты, на долю которых приходится 51,8–81,3 % от общего количества фосфора (табл. 1).

Таблица 1. Содержание фосфора в мерзлотной пирогенно-трансформированной почве Южной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Общий Р, мг P ₂ O ₅ /100 г почвы	Органический Р		Минеральный Р	
			мг P ₂ O ₅ / 100 г почвы	% от общего	мг P ₂ O ₅ /100 г почвы	% от общего
Бурозем типичный постпирогенный на серии погребенных буроземов постпирогенных, разр. 16-89ТУ						
0	0–2	310,9	164,2	52,8	146,7	47,2
AУpir	2–9	427,2	241,3	56,5	185,9	43,5
BM	15–25	282,2	150,2	53,2	132,0	46,8
[AУpir]	30–40	308,8	160,0	51,8	148,8	48,2
BM	43–51	98,0	65,4	66,7	32,6	33,3
[AУpir]	51–57	195,7	140,7	71,9	55,0	28,1
BCm	60–70	131,9	97,2	73,7	34,7	26,3
CD	70–80	114,3	92,9	81,3	21,4	18,7

Таблица 2. Формы минеральных фосфатов в мерзлотной пирогенно-трансформированной почве Южной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Формы минеральных фосфатов						Сумма
		Рыхло-связанные	Al-P	Fe-P	Ca-P	Оккл. Al-P	Оккл. Al(Fe) – P	
Бурозем типичный постпирогенный на серии погребенных буроземов постпирогенных, разр. 16-89ТУ								
0	0-2	<u>36,5</u> 24,9	<u>18,8</u> 12,8	<u>89,0</u> 60,7	<u>0,9</u> 0,6	–	<u>1,5</u> 1,0	146,7
AУpir	2-9	<u>1,4</u> 0,7	<u>16,8</u> 9,0	<u>158,5</u> 85,3	<u>1,4</u> 0,7	<u>3,3</u> 1,8	<u>4,5</u> 2,4	185,9
BM	15–25	<u>0,4</u> 0,2	<u>9,5</u> 7,2	<u>110,0</u> 83,3	<u>1,5</u> 1,1	<u>5,1</u> 3,9	<u>5,5</u> 4,2	132,0
[AУpir]	30–40	<u>0,3</u> 0,2	<u>6,3</u> 4,2	<u>130,0</u> 87,4	<u>1,2</u> 0,8	<u>5,0</u> 3,4	<u>6,0</u> 4,0	148,8
BM	43–51	<u>1,1</u> 3,4	<u>13,5</u> 41,4	<u>5,5</u> 16,9	<u>6,4</u> 19,6	<u>3,4</u> 10,4	<u>2,7</u> 8,3	32,6
[AУpir]	51–57	<u>1,5</u> 2,7	<u>35,5</u> 64,5	<u>11,5</u> 20,9	<u>3,2</u> 5,8	<u>0,7</u> 1,3	<u>2,6</u> 4,7	55,0
BCm	60–70	<u>1,2</u> 3,5	<u>20,3</u> 58,5	<u>7,0</u> 20,2	<u>1,7</u> 4,9	<u>0,6</u> 1,7	<u>3,9</u> 11,2	34,7
CD	70–80	<u>0,9</u> 4,2	<u>0,3</u> 1,4	<u>4,3</u> 20,1	<u>15,3</u> 71,5	–	<u>0,6</u> 2,8	21,4

Примечание. Над чертой содержание в мг P₂O₅/100 г почвы, под чертой – в % от суммы всех фракций.

Среди форм минеральных фосфатов в данной почве абсолютно преобладают труднодоступные для растений фосфаты полуторных окислов, максимально суммарно составляя 91,6–94,3 % от суммы всех минеральных фосфатов, а среди последних – Fe-P, на долю которых приходится 85,3–87,4 % (табл. 2). Поэтому не случайно здесь обнаружена высокая положительная

корреляционная статистически значимая зависимость между суммой минеральных фосфатов и Fe-P, когда $r = 0,977$ ($n = 8$, $r_{st} = 0,707$, $p = 0,95$). При этом абсолютное и относительное содержание Fe-P возрастает во всех гумусовых горизонтах данной почвы по сравнению с таковыми выше- и нижерасположенными смежными горизонтами почвенного профиля.

Последнее позволяет утверждать, что помимо педогенеза в ландшафтно-климатических условиях Южной Якутии в формировании особенностей фосфатного состояния данных мерзлотных почв, имеет существенное значение также и пирогенный фактор. Таким образом, образование и накопление Fe-P в мерзлотных лесных почвах Южной Якутии происходит под влиянием процессов как криогенного, так и биогенно-пирогенного ожелезнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Арефьева З.Н., Колесников Б.П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // Почвоведение. 1964. № 3. С. 30–46.
3. Чевычелов А.П., Захарова О.Г. К оценке фосфатного состояния мерзлотных почв Южной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25, № 1. С. 51–59.
4. Чевычелов А.П., Шахматова Е.Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 243–252.

ЛЕСНЫЕ И ПОЙМЕННЫЕ ПОЧВЫ В ГРАДИЕНТЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ФОРМЫ ГУМУСА, ПОЧВЕННАЯ ФАУНА

Коркина И.Н., Воробейчик Е.Л.

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург,
korkina@ipae.uran.ru*

На территориях, подверженных промышленному загрязнению, пойменные почвы изучены очень слабо, хотя они отличаются от почв прилегающих территорий своеобразием свойств и могут играть важную роль в устойчивости экосистем. Для оценки активности почвенной биоты успешно используют анализ форм гумуса – типов морфологического строения органогенных горизонтов почв [2, 3]. В Европейской морфофункциональной классификации таксономия форм гумуса построена на зависимости морфологического строения органогенных горизонтов от состава и обилия сапротрофного комплекса почвенной биоты [5]. Для территорий вблизи металлургических предприятий разработана схема эволюции форм гумуса с подробным описанием процессов их деградации и реградации [4]. Однако формы гумуса пойменных почв на загрязненных территориях еще не изучались.

Мы сравнили пойменные почвы малых лесных рек и лесные почвы на прилегающих к поймам участках в разных зонах загрязнения (фоновая, буферная, импактная) выбросами Среднеуральского медеплавильного завода (южная тайга Среднего Урала). Предприятие долгое время было крупнейшим в России источником атмосферных выбросов диоксида серы, металлов и металлоидов (Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As и др.), но сейчас его выбросы почти прекратились, что инициировало начало восстановления экосистем [1].

Площадки с лесными почвами располагались на террасах и пологих склонах в хвойных и смешанных лесах, где доминируют дерново-подзолистые автоморфные и дерново-подзолистые глееватые почвы средне-тяжелосуглинистые; на суглинисто-щебнистых отложениях встречаются буроземы оподзоленные. Площадки с пойменными почвами располагались преимущественно в лиственных лесах (с ольхой, ивой, черемухой) или в прирусловых ельниках, где наиболее представлены аллювиальные серогумусовые (дерновые) глеевые почвы разного

гранулометрического состава, с преобладанием среднесуглинистых-глинистых, реже – аллювиальные перегнойно-глеевые почвы.

В поймах встречены формы гумуса, относящиеся к разным ветвям классификации, выделяемым по уровню гидроморфизма: автоморфных почв – Terrestrial humus systems, гидроморфных – Histic humus systems и промежуточные варианты – Hydro intergrades и Epihisto intergrades. Соотношение этих групп варьирует в поймах разных рек. На лесных участках доминируют формы гумуса, относящиеся к Terrestrial humus systems (95 %, 90 % и 73 % в фоновой, буферной и импактной зонах, соответственно). Оставшуюся часть составляют гидроформы (Hydro intergrades), а их большая встречаемость в импактной зоне связана с развитием техногенного оглеения [3].

В градиенте загрязнения спектр форм гумуса лесных почв закономерно изменяется: по мере приближения к заводу высоко активные зоогенные мюль-формы, характерные для фоновых территорий, замещаются вначале модер-формами, а затем мор-формами, включая крайний незоогенный вариант Eumog, наиболее распространенный в импактной зоне [2, 3]. Деградация связана с подавлением сапрофагов: уменьшением численности дождевых червей и последующим исчезновением вначале эндогеинных, а затем и эпигейных видов [1]. В импактной и буферной зонах были выявлены нетипичные формы, отражающие процесс реградации – обратный переход мор-форм к мюль-формам, протекающий по мере заселения незоогенных подстилок дождевыми червями и другими сапрофагами при уменьшении токсичности почв после почти полного прекращения поступления поллютантов.

Для сравнения биологической активности разных участков целесообразно использовать индекс гумуса, который ранее применялся для лесных почв: 10 форм гумуса, относящихся к Terrestrial humus systems, ранжированы по степени уменьшения роли крупных сапрофагов в деструкции органического вещества (в скобках указан индекс): Eumull (1), Mesomull (2), Oligomull (3), Dysmull (4), Nemimoder (5), Eumoder (6), Dysmoder (7), Nemimor (8), Humimor (9), Eumor (10). Подобные ряды можно построить в пределах каждой ветви гидроморфизма: для Histic humus systems, Hydro intergrades и Epihisto intergrades. Для сравнения форм гумуса разных рядов мы разработали единую систему индекса гумуса. Ее основу составляет ряд для автоморфных почв, а формы, относящиеся к разным рядам, но близкие по биологической активности, имеют одинаковый индекс. В каждом из рядов индексы 1–4 присвоены формам, сформированным при участии эндо- и эпигейных дождевых червей (соответствуют системе Мюль в ряду автоморфных почв); индексы 5–7 – формам, сформированным при участии эпигейных червей и других сапрофагов макрофауны (соответствуют системе Модер); индексы 8 и 9 – формам, не имеющих признаков деятельности крупных сапрофагов (дождевых червей), а индекс 10 – полностью незоогенным формам.

Во всех зонах загрязнения в пойменных почвах по сравнению с лесными спектр форм гумуса сдвинут в сторону большей биологической активности: только в поймах выявлены высоко зоогенно активные формы с индексом 2 и 3, отсутствующие на лесных участках; в поймах фоновой зоны по сравнению с лесными участками меньше доля менее активных модер-форм (индексы 5 и 6), импактной и буферной зон – форм с признаками незоогенной переработки опада (индексы 8–10). Различия пойменных и лесных участков становятся более контрастными по мере увеличения загрязнения: в фоновой зоне медиана индекса гумуса равна 4 в лесных и 4 в пойменных почвах, в буферной зоне – 4 и 6, в импактной – 4 и 9, соответственно. Таким образом, в поймах загрязненных территорий деструкция растительного опада протекает с участием крупных почвенных сапрофагов, которые отсутствуют на прилегающих лесных участках. Это подтверждается прямыми оценками обилия и структуры населения почвенной макрофауны, а также ее трофической активности.

Кислотность пойменных почв по сравнению с лесными ниже: различия наиболее выражены в гумусовых горизонтах (достигают 1.1 ед. рН при средних значениях в лесных почвах 4.7, 4.3 и 4.2 в фоновой, буферной и импактной зонах). Содержание органического углерода

наиболее высоко в перегнойно-глеевых аллювиальных почвах (до 13–28 %). В серогумусовых аллювиальных почвах по сравнению с лесными дерново-подзолистыми концентрация углерода в гумусовых горизонтах в фоновой и буферной зонах в 1.4 раз выше, но в импактной зоне несколько ниже. Во всех зонах для пойменных почв характерно постепенное убывание содержания углерода, в результате чего в нижних горизонтах углерода больше, чем на соответствующих глубинах лесных почв. Аналогичные различия внутривертикального распределения характерны для общего азота.

Содержание металлов (Cu, Pb, Cd, Zn) в пойменных почвах по сравнению с лесными ниже подстилках, но выше в остальных горизонтах. Характер вертикального распределения металлов различен: в лесных почвах его содержание резко убывает с глубиной, а в пойменных – снижение плавное. Меньшая кислотность и повышенное содержание органического вещества уменьшают токсичность металлов для биоты, что может быть одним из факторов распространения в пойменных почвах импактной зоны зоогенно активных форм, отсутствующих на прилегающих лесных участках. Результаты показывают, что пойменные биотопы малых лесных рек играют важную роль в устойчивости биоты к загрязнению и важны для понимания путей посттехногенного восстановления экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробейчик Е.Л., Ермаков А.И., Гребенников М.Е. Начальные этапы восстановления сообществ почвенной мезофауны после сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2019. № 2. С. 133–148.
2. Коркина И.Н., Воробейчик Е.Л. Индекс форм гумуса – перспективный инструмент для экологического мониторинга // Экология. 2016. № 6. Р. 434–440.
3. Korkina I.N., Vorobeichik E.L. Humus Index as an indicator of the topsoil response to the impacts of industrial pollution // Appl. Soil Ecol. 2018. V. 123. P. 455–463.
4. Korkina I.N., Vorobeichik E.L. Non-typical degraded and regraded humus forms in metal-contaminated areas, or there and back again // Geoderma. 2021. V. 404. 115390.
5. Zanella A., Ponge J.-F., de Waals R. et al. Humusica 1, article 3: Essential bases – Quick look at the classification // Appl. Soil Ecol. 2018. V. 122. P. 42–55.

СЕКВЕСТРАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Лемешко Н.А.¹, Евстигнеев В.П.², Русаков А.В.¹, Симонова Ю.В.¹,
Белокопытова М.А.¹, Морозов А.П.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Университетская наб., 7, n.lemeshko@spbu.ru

² ФГБУН «Институт природно-технических систем», Севастополь,
ул. Ленина, 28, vald_e@rambler.ru

В последние десятилетия большое значение придается «природным решениям» в рамках проблемы смягчения глобального потепления. Разработаны два пути решения проблемы изменения климата: смягчение глобального потепления и возможности адаптации к ним. Деятельность по смягчению (ослаблению) изменений климата направлена на борьбу с причинами изменений климата. Наиболее важные из них следующие: (1) ограничение и сокращение потребления ископаемого углеродного топлива (угля, нефти, газа); (2) повышение эффективности потребления энергии; (3) использование неуглеродных и возобновляемых источников энергии; (4) развитие новых экологически чистых и низкоуглеродных технологий; (5) восстановление лесов, поскольку леса – естественные поглотители углекислого газа из атмосферы.

Сокращение выбросов парниковых газов позволит смягчить только часть изменений климата, поэтому в настоящее время предложены способы увеличения поглощения парниковых газов биосферой. Среди них есть важный природный резерв для поглощения и накопления углерода – это почвы. Секвестрация углерода предполагает связывание атмосферного углекислого газа в виде почвенного органического углерода, так как связывание CO_2 в почве представляется эффективным способом снижения его концентрации в атмосфере. Кроме того, богатая углеродом почва является более плодородной, что имеет ключевое для сельскохозяйственного производства значение. Актуальность этой проблемы настолько велика, что ФАО объявила о появлении двух инструментов для практической работы в целях управления запасами почвенного органического углерода (ПОУ) и его секвестрации: глобальной карты возможных объемов почвенной секвестрации CO_2 в различных районах и технического руководства по надлежащей практике секвестрации и удержания запасов ПОУ в почвах [1].

Целью настоящего исследования является выявление отклика почвенного органического углерода при изменении агроклиматических условий на фоне современного глобального потепления. Для исследования влияния современных изменений климата на почвы выбрана обширная территория Ярославского Поволжья [2]. Для того, чтобы получить климатообусловленный отклик почв на современный масштаб глобального потепления, нами привлечены данные о тренде постагрогенного развития почв бывших пахотных угодий за период не более 30–35 лет назад, то есть до аграрной реформы в Российской Федерации.

Климатическая информация представлена данными стандартной сети наблюдений на метеорологических станциях. Для исследования подбирались станции, ближайšie к району размещения почвенных разрезов и выполнена интерполяция метеорологических данных в точки локализации почвенных разрезов по температуре воздуха и количеству атмосферных осадков за период 1961–2021 гг.

Методический подход для выявления отклика почв на изменения климата определяется временной структурой данных о почвах. Поскольку почвенные данные представлены двумя временными срезами, обусловленными периодами отбора образцов, а именно, 1990 гг. и 2021 г., то оценки климатических параметров выполнены как для всего периода, так и для двух 30-ти летних интервалов. Таким образом, методика основана на сравнении климатической и почвенной составляющих для двух периодов – 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг.

Полученные нами данные изменения содержания углерода на примере почв Ярославского Поволжья показали, что наблюдаются как положительные, так и отрицательные разности по содержанию почвенного органического углерода при сравнении двух 30-летних периодов. Так, в широко применяемом для оценки агроэкологического состояния и бонитета почв почвенно-экологическом индексе (ПЭи) [3], учитывается климатическая составляющая, которая за 30-летний период увеличивалась в среднем на 15 % за счет улучшения теплообеспеченности изученных районов.

Хороший результат получения отклика почвенного углерода на изменение климата показало применение комплексного показателя – гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК). Содержание почвенного углерода на залежных почвах возрастает при увеличении температуры воздуха (в качестве показателей использованы изменения средней годовой температуры воздуха и суммы температур воздуха выше $+10\text{ }^\circ\text{C}$) и уменьшении увлажнения (в качестве агроклиматических показателей использованы изменения за два периода ГТК и средней годовой суммы атмосферных осадков). Кроме того, получен богатый материал для определения оптимальной стадии сукцессии в постагрогенном развитии почв, когда происходит максимальное накопление углерода в почвах.

Наши исследования почв разновозрастных залежей на фоне региональных изменений климата за четыре десятилетия современного глобального потепления показывают, что для оценки секвестрационного потенциала почв необходимо учитывать также такие важные

аспекты, как история землепользования, стадии растительных сукцессий, эдафические факторы, тип почв и их гранулометрический состав. Дальнейшие исследования позволят использовать данные об изменении содержания почвенного углерода на залежных землях для развития системы карбоновых полигонов и вовлечения залежей Нечерноземья в сельскохозяйственный оборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. FAO (2022). Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map – SOCseq v. 1.1. Technical report. Rome.
2. *Rusakov A.V., Simonova J.V., Popov A.I., Ryumin A.G., Lemeshko N.A., Mirin D.M., & Volina O.V.* (2022). Assessment of the Agroecological State and Trends of Evolutionary Changes in Arable Soils of the Yaroslavl Volga Region over 30 Years Based on the Soil-Ecological Index. *Moscow University Soil Science Bulletin*, 77(5), 343–355.
3. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Шишов Л.Л. и др. М.: Агропромиздат, 1991. 304 с.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ, ЗАТОПЛЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ

Миннегалиев А.О.¹, Сулейманов Р.Р.², Дорогая Е.С.², Асылбаев И.Г.³

¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, minnegaliev.aleksandr@rambler.ru

² Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, soils@mail.ru, ekaterina.s.dorogaya@gmail.com

³ Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, lgiz010@yandex.ru

Рассмотрены особенности трансформации серых лесных почв, затопленных Юмагузинским водохранилищем.

В пределах периодически затапливаемого залива (урочище Акавяз), расположенного в 12.8 км выше створа гидроузла, в ноябре 2020 г. выполнена закладка 5 почвенных разрезов (4 разреза в ложе водохранилища на разных гипсометрических уровнях, 1 фоновый разрез на незатапливаемом участке). Отобраны образцы почвы, общепринятыми методами [2] определено валовое количество органического вещества, рН (КСИ), содержание азота щелочногидролизуемого и подвижного фосфора. Определение гранулометрического состава для крупных фракций выполнено по ГОСТ 12536-2014, илистых и глинистых фракций – лазерным дифракционным анализатором Ласка-Т (Д).

Установлено, что интенсивность изменения исходных почв существенно зависит от продолжительности затопления, которая в свою очередь определяется гипсометрическим положением участка закладки разреза. Эта закономерность подтверждается не только на серых лесных, но и на лугово-черноземных и пойменных почвах [1].

Существенное влияние на степень трансформации оказывает переработка берегов водохранилища. Участки зоны затопления, прилегающие к берегам, подвергаются воздействию волнения и характеризуются частичным разрушением верхних горизонтов или полной деградацией почвенного профиля.

Агрохимические характеристики исследованных почв характеризуются существенной пространственной изменчивостью. Для фонового участка, расположенного за пределами затапливаемой зоны, характерна высокая обеспеченность щелочногидролизуемым азотом, среднее содержание органического вещества, нейтральная реакция среды. На периодически затапливаемом участке, непосредственно прилегающем к берегу, имеются признаки волнового воздействия. Горизонт А практически полностью разрушен, содержание отдельных биогенных элементов (органического вещества, валового фосфора, щелочногидролизуемого азота,

подвижного калия и обменного натрия) снижено. По мере движения от более высоких в гипсометрическом отношении участков к более пониженным наблюдается ослабление влияния переработки берегов, что приводит к появлению и возрастанию мощности исходного горизонта А. Гранулометрический состав характеризуется уменьшением среднего диаметра частиц при движении от берега к глубоководной зоне. На фоне увеличения мощности исходного гумусового горизонта кислотность почвы увеличивается от нейтральной до умеренно кислой, постепенно возрастает количество биогенных элементов. Наиболее существенно увеличивается количество подвижного фосфора, менее значительно – содержание щелочногидролизующего азота. Увеличение количества органического вещества незначительно. При этом количество биогенных элементов на участках затопляемой зоны не достигает значений, характерных для фонового незатопляемого участка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миннегалиев А.О., Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Асылбаев И.Г. Затопленные почвы ложа водохранилищ: особенности формирования и перспективы восстановления // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: тезисы доклада Всерос. конф. (г. Сатка, Челябинская обл., 12–16 сент. 2022 г.). Принтоника, 2022. С. 141–144.
2. Соколов А.В. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука. 1975. 656 с.

СУКЦЕССИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВАХ ЛЕСОСТЕПИ И ИХ ДИАГНОСТИКА НА МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Неведров Н.П.¹, Плотникова О.О.²

¹ Курский государственный университет, Курск, 9202635354@mail.ru

² Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, mrs.plotnikova@mail.ru

Растительность надпойменных песчаных террас рек Курской области, как правило, представлена разновозрастными насаждениями сосны обыкновенной, под которыми формируются альфегумусовые почвы – подзолы песчаные. Сосновые насаждения не являются климаксальными сообществами, активно подвержены сукцессионным процессам, направленным в большинстве случаев на постепенное замещение сосняков на лиственные леса. Отмеченная смена лесообразующих пород приводят к значительным трансформациям почвенного покрова. Так, при формировании на месте монодоминантного сосняка зеленомошного смешанного леса или дубравы отмечаются изменения почв на уровне типа – подзол иллювиально-железистый-песчаный (Albic Podzol (Arenic)) изменяется до дерново-подзола иллювиально-железистого песчаного (Albic Podzol (Arenic, Ochric)) [4].

Диагностика и мониторинг процессов естественной и антропогенной трансформации почв играет решающую роль в решении проблем их рационального использования и дает возможность долгосрочного прогнозирования динамики выполнения почвами экологических функций [1]. Микроморфологический анализ почв позволяет на ранних стадиях диагностировать изменения направленности и интенсивности почвенных микропроцессов.

Цель работы состояла в оценке степени трансформации микроморфологических свойств песчаных почв в сукцессионном ряду «подзол песчаный – дерново-подзол песчаный».

Исследование проводилось на территории Курской агломерации в надпойменной террасе реки Сейм в урочище «Горелый лес» (восточная часть г. Курска). В качестве ключевых были выбраны два участка: монодоминантное насаждение сосны обыкновенной (тип почв – подзол иллювиально-железистый песчаный), смешанный лес, образовавшийся в ходе заселения в сосновое насаждение лиственных пород – преимущественно дуба черешчатого и клена

остролистного (тип почвы – подзол иллювиально-железистый песчаный). Почвы классифицировали по Полевому определителю почв России [5]. Морфологические и физико-химические свойства почв представлены в [3, 4].

Микроморфологические исследования почвенных шлифов (толщина 30 мкм) проводились с использованием поляризационного микроскопа Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26. Описание элементов микростроения проведено согласно международной терминологии, переведенной на русский язык [2, 6].

Микростроение дерново-подзола имеет существенные отличия по сравнению с подзолом, например, для дерново-подзола характерны более высокая активность микрофауны и большее количество и разнообразие растительных остатков. В горизонте АУ дерново-подзола на глубине 2–7 см наблюдалось очень много экскрементов клещей и другой микрофауны (рисунок 1 А, Б). Растительные остатки в дерново-подзоле встречаются на большей глубине, чем в подзоле – на глубине 12–17 см они все еще присутствуют в довольно большом количестве (рисунок 1 В), а единично встречаются даже на глубине 30–35 см, в то время как в подзоле уже на глубине 4–9 см встречена только одна микрizona с мелкими корневыми остатками (рисунок 1 Г). Подзолистый процесс у дерново-подзола выражен уже настолько слабо, что даже проявления ожелезнения встречены единично (сильно выветрелые зерна кварца с фрагментарными железистыми пленками).

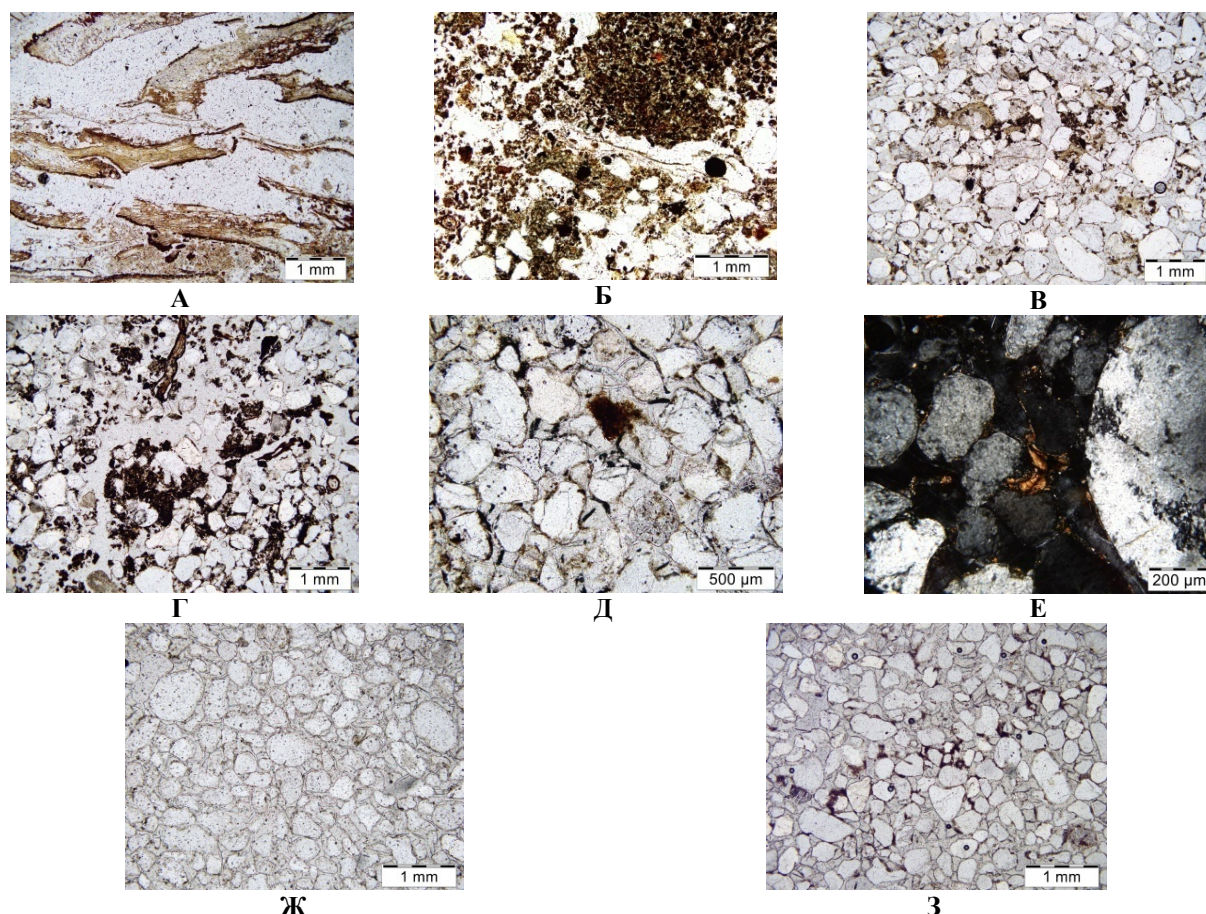


Рис. 1. Особенности микростроения дерново-подзола (А, Б, В, Д, Ж) и подзола (Г, Е, З) Курской области:

А, Б – обилие растительных остатков и экскрементов, 2–7 см, NII; В – то же, 12–17 см, NII; Г – растительные остатки и экскременты, 0–5 см, NII; Д – пленочное микросложение, нет кутан, 30–35 см, NII; Е – глинисто-железистые кутаны, переходящие в инфиллинг, 55–60 см, NX; Ж – чистый кварц, 70–75 см, NII; З – субгоризонтальная микрizona с глинисто-железистыми кутанами, 97–102 см, NII.

Примечание. NII – съемка без анализатора, NX – съемка с анализатором.

В то же время подзол отличается существенно меньшей биогенной проработкой и выраженным глинисто-железисто-иллювиальным процессом. Если в дерново-подзоле на глубине 30–35 см микросложение пленочное и кутаны отсутствуют (рисунок 1 Д), а на глубине 70–75 см уже чистые кварцевые зерна и микросложение одноразмерное (рисунок 1 Ж), то в подзоле на глубине 60–65 см отмечено большое количество мелких глинисто-железистых чистых типичных и скорлуповатых кутан, единично они заполняют все пространство между несколькими зернами, переходя в инфиллинги (рисунок 1 Е). На глубине 97–102 см кутаны примерно такого же вида, но более ожелезненные и расположены микроразмерно прослойкой в субгоризонтальном направлении (рисунок 1 З).

Таким образом, в микроморфологическом строении исследуемых почв можно выделить признаки двух преобладающих почвообразовательных процессов – в дерново-подзоле преобладает гумусо-аккумулятивный процесс, в подзоле преобладает альфегумусовый процесс, вызванный более интенсивным оподзоливанием.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (проект – МК-416.2021.1.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Васнев И.И. Почвенные сукцессии / И. И. Васнев; Российский гос. аграрный ун-т – МСХА им. К.А. Тимирязева. Москва : URSS : Изд-во ЛКИ, 2008. 395 с.
2. Герасимова М.И., Ковда И.В., Лебедева М.П., Турсина Т.В. Микроморфологические термины как отражение современного состояния исследований микростроения почв. Почвоведение, (7): 804–817, 2011.
3. Неведров Н.П., Фомина М.Ю., Проценко Е.П., Протасова М.В., Балабина Н.А., Сапронова С.Г., Смицкая Г.И. Почвенные сукцессии подзолов и дерново-подзолов песчаных лесостепи при смене лесобразующих пород [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журн. 2021. № 2. Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_213.pdf. <https://doi.org/10.51419/20212213>.
4. Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васнев И.И. Пространственно-временная изменчивость эмиссии CO₂ из альфегумусовых песчаных почв лесостепной зоны на примере г. Курска // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1366–1377.
5. Полевой определитель почв России. М. Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. 2008. 182 с.
6. Stoops G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. John Wiley & Sons (Publ.), 2021. 240 p.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ (СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Огородняя С.А.¹, Красиков С.Р.², Кокорева А.А.¹, Дымов А.А.^{1,3}

¹ Факультет почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

² Институт естественных наук, СыктГУ имени Питирима Сорочкина, Сыктывкар

³ Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар,
sofya.ogorodnyaya@gmail.com, aadytmov@gmail.com

Нарушения лесных почв в значительной степени связаны с современными лесозаготовительными мероприятиями. При рубках леса, особенно при использовании тяжелой лесозаготовительной техники в безморозный период характерна существенная трансформация верхних генетических горизонтов почв [2]. К настоящему времени достаточно детально оценены изменения морфологических и химических свойств почв при лесозаготовках. Физические

свойства лесных почв, изменённых при рубках леса, изучены в значительно меньшей степени. С одной стороны, ожидается уплотнение почвы, повышение сопротивления пенетрации, уменьшение водопроницаемости. С другой стороны, при воздействии техники верхние минеральные горизонты перемешиваются с лесной подстилкой, что может привести к их разрыхлению. Со стороны кажущегося электрического сопротивления вероятно изменение значений в верхних горизонтах по сравнению с исходными или условно-фоновыми почвами [4]. В связи с чем, цель данной работы заключалась в анализе физических свойств и оценке удельного сопротивления механически нарушенных почв.

Исследования проводили на мониторинговых площадках, расположенных вблизи станции Язель в июне 2023 года. Исходный тип леса – ельник зеленомошный, почвы – подзолистые. Рубка проведена в декабре 2020 года (на момент исследований идет третий год после рубки). Определение плотности выполнено буровым методом, измерение коэффициента фильтрации произведено методом трубок с постоянным напором [6]. Сопротивление расклиниванию определены с использованием микропенетromета MB2, сопротивление сдавливанию голландским пенетromетром Eijkelkamp Soil & Water (Нидерланды) [5]. Твердость измерялась на горизонтальных площадках и по стенке разреза. Удельное электрическое сопротивление оценивали при помощи прибора Land Mapper ERM-02. Проводили как профильное, так и горизонтальное зондирование [3]. Определение коэффициента фильтрации (Кф) проводилось методом трубок с постоянным водным напором [6]. Кф рассчитывался аппроксимацией полученных данных уравнением Хортонa: $q_w = q_f + (q_0 - q_f) \times e^{-k \times t}$, где q_w – скорость фильтрации, изменяющаяся в течение эксперимента, см/мин; q_f – коэффициент фильтрации, см/мин; q_0 – скорость впитывания в начальный момент времени, см/мин; k – эмпирический коэффициент, 1/мин, t – время, мин. Исследовали почвы волоков с различным числом проходов форвардера: 3П – три проезда форвардера; 10П – десять проездов; 10Р – десять проездов с последующим выравниванием колеи. Дополнительно исследовали почвы пасечного (П) и условно-фоновый (Ф) участка. Почва пасечного участка претерпела наименьшие изменения. Почва на волоке с тремя проездами была переуплотнена, но почвенные горизонты структурно остались там же. Обе почвы на данных участках классифицировались нами как подзолистые. Наибольшие изменения претерпели участки волоков 10П и 10Р. На данных участках полностью исчезают органогенные и верхний минеральный горизонты. На их месте образуется турбированный горизонт. Условно-фоновая почва также представлена подзолистой почвой. Подробно исследуемые объекты описаны нами ранее [1]. Почва условно-фоновый леса характеризуется типичными свойствами [7].

Минимальная полученная плотность сложения составила 1.55 г/см^3 (Ф, элювиальный горизонт), следовательно, почвы всей исследуемой территории уплотнены. Наименьшие значения наблюдаются на фоновом и рекультивированном участках. На пасечном участке плотность увеличивается, характерны промежуточные значения. В результате применения лесозаготовительной техники отмечаются большие значения на участках 3П и 10П, свидетельствующие о сильном переуплотнении.

Для поверхности почвы фоновый участка характерна провальная фильтрация. Рубка не может не затронуть лесную подстилку, поэтому на других участках отмечается также провальная фильтрация, но на порядок меньше. Также на фоновом участке зафиксирована наибольшая фильтрация в элювиальных горизонтах – Кф определен как очень высокий. В почвах вырубков отмечается водоупорный Кф уже на глубине 20 см, под первым элювиальным горизонтом.

Для всех участков, кроме 10Р, наблюдается увеличение сопротивление расклиниванию вниз по профилю. Наибольшие значения отмечены для нижних горизонтов на пасеке. Участки 3П и 10П отличаются наименьшим сопротивлением горизонтальной пенетрации в верхних горизонтах. В случае сопротивления сдавливанию наблюдается аналогичный результат, кроме значений на горизонтальной площадке верхнего горизонта на участке 10П.

Удельное сопротивление плавно уменьшается с глубиной на всех исследованных участках. Почвы колеи на участках ЗП и 10П характеризуются меньшим сопротивлением по сравнению с межколеиным пространством.

На основании проведенных исследований выявлено, что турбированные горизонты механически нарушенных почв волоков отличаются по исследованным параметрам, в том числе по величине удельного сопротивления. Использование техники ведет к уплотнению и снижению водопроницаемости, как и верхних горизонтов, так и субэлювиальных и текстурных, залегающих под ними. Сопротивление пенетрации возрастает с глубиной, кроме рекультивированного участка. Срединные горизонты механически нарушенных почв более твердые по сравнению с ненарушенными. Также, отмечается снижение электрического сопротивления на механически нарушенных участках.

Работы выполнены в рамках проекта РНФ 23-74-10007 «Изменение почв и компонентов цикла углерода в ходе восстановительной сукцессии после сплошной рубки в средней тайге европейского северо-востока России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Севергина Д.А., Кутявин И.Н., Осипов А.Ф., Дубровский Ю.А. Изменение почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1426–1441.
2. Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828.
3. Поздняков А.И. Электрические параметры почв и почвообразование // Почвоведение. 2008. № 10. С. 1188–1197.
4. Поздняков А.И., Елисеев П.И. Зависимости удельного электрического сопротивления от некоторых свойств антропогенно-преобразованных легких почв агроландшафтов гумидной зоны // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 10 (146). С. 98–104.
5. Шваров А.П., Смагин А.В., Дембовецкий А.В. и др. Полевые методы определения физических свойств и режимов торфяных и минеральных почв. Учебное пособие к полевой практике для студентов, обучающихся по направлению подготовки 021900 Почвоведение. М.: Гриф и К. 2012. С. 140.
6. Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. Теории и методы физики почв. Коллективная монография под общей редакцией Шеина Е.В. и Карпачевского Л.О. М.: Гриф и К. 2007. С. 616. ISBN 978-5-8125-0921-7.
7. Startsev V.V., Yakovleva E.V., Kutayavin I.N., Dymov A.A. Fire impact on the carbon pools and basic properties of Retisols in native spruce forests of European North and Central Siberia of Russia // Forests. 2022. Vol. 13, № 1135. DOI: 10.3390/f13071135.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Осипов А.И.

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, aosipov2006@mail.ru

К началу третьего тысячелетия в нашей стране снизилась государственная поддержка работ по поддержанию почвенного плодородия. В результате этого темпы известкования почв начали резко падать и к 2010 году его объемы сократились до 210 т. га, дозы минеральных удобрений до 36 кг, а органики – до 1,0 тонны на гектар. В сложившейся ситуации большинство хозяйств, используя современные технологии выращивания возделываемых культур, позволяющие получать больше продукции с единицы площади, используют в первую очередь самые плодородные почвы [1]. В настоящее время около 56 млн га земель, предназначенных для ведения сельского хозяйства в связи с их целевым назначением, оказались выведенными из оборота. Как правило, они расположены на землях, малопригодных для возделывания

сельскохозяйственных культур [2]. Вывод земель из оборота является обычной практикой стран с рыночной экономикой. Это часто происходит на территории неиспользуемых пастбищах, на участках с крутыми склонами, бедными почвами или слабо развитой дорожной инфраструктурой. В Западной Европе за период 1961–2003 гг. выведено более 25 млн га земель, в США – 35,6 млн га, в Австралии – 40,8 млн га, в целом по всему миру – 223 млн га [3].

По оценкам экспертов постагрогенные земли обладают наиболее благоприятными условиями для выращивания леса. Они имеют выровненный пахотный горизонт, более высокий класс бонитета. Кислотность этих почв также меньше, чем лесных, что делает более доступными элементы минерального питания для древесных пород. Как правило, в лесовосстановлении на постагрогенных землях участвуют преимущественно 4 породы древесины: сосна, ольха, береза и ива. Отмечено, что их древостои имеют преимущества в росте над аналогичными насаждениями, произрастающими на коренных землях лесного фонда [4].

В последнее время Министерство сельского хозяйства России уделяет повышенное внимание вовлечению в оборот неиспользуемых земель, что является ключевым фактором интенсивного развития агропромышленного комплекса. Эффективное управление этими землями позволит решить важнейшие задачи в области обеспечения продовольственной безопасности и наращивания экспортного потенциала. Однако если бывшая пашня не обрабатывалась более десяти лет, то переход ее к активной агрономической деятельности невозможно без проведения культуртехнических работ и агрохимической мелиорации. По данным органов управления АПК в 2019 году в целом по стране введено в оборот 1,07 млн га неиспользуемой пашни. С 2021 года данная задача выполняется в рамках Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации. К концу 2030 года Минсельхоз планирует вовлечь в оборот не менее 12 млн га земель сельхозназначения, чему будут способствовать инструменты господдержки. Эта работа позволит обеспечить ежегодный прирост объемов производства зерна на 1 млн тонн.

Агрофизический научно-исследовательский институт на протяжении ряда лет проводит научные исследования по применению дистанционных методов обследования сельскохозяйственных земель [5]. Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) представляет собой процесс получения информации без непосредственного контакта с изучаемым объектом, при помощи специальных приборов, регистрирующих отраженные и излучаемые земной поверхностью электромагнитные волны. Расшифровка аэрофотоснимков, полученных в различных диапазонах света радиоуправляемыми беспилотными летящими аппаратами (БПЛА) позволяет получить требуемую информацию о состоянии сельхозугодий, в том числе и вышедших из оборота. Новые технологии позволяют получать высокоточные цифровые модели рельефа, что невозможно сделать традиционными методами. Целесообразно также отметить экономическую сторону данной проблемы. Применение автоматизированной системы существенно сокращает время, затрачиваемое на обследование заросших угодий, а также позволяет избежать значительных трудозатрат, связанных с визуальным осмотром данных полей [5]. Полученные и обработанные цифровые снимки можно легко архивировать, сохраняя максимальное количество данных для дальнейшего анализа изменений. Вести учет, инвентаризацию и классификацию земель с построением специализированных сельскохозяйственных планов и карт, а также получать аэрофотоснимков на заданную территорию с заданными параметрами.

Обследование вышедших из оборота земель с помощью БПЛА по действующим методикам позволяет определить степени зарастания полей древесно-кустарниковой растительностью, ее густоту, породу деревьев и толщину стволов по снимкам, сравнивая их со снимком модельного участка, заросшего подобной растительностью. Рассчитать объемы надземной части древесины, выдать рекомендации о механизированной их уборке и утилизации. Определить объемы корчевки (удаления) пней, корней, а также камней и рекомендовать способы их удаления с полей.

После проведения культуртехнических работ на вновь вводимых в оборот землях необходимо проводить известкование. После проведения культуртехнических работ на вновь вводимых в оборот землях важнейшим мероприятием является известкование, которое нейтрализует избыточную кислотность в этих почвах, повышает коэффициенты использования минеральных удобрений. Улучшается экологическая обстановка окружающей среды. Патогенная грибная микрофлора сменяется на бактериальную. Растет число фосфатмобилизующих бактерий, азотфиксаторов, целлюлозоразлагающих микроорганизмов [6].

Для внесения химических мелиорантов в Ярославле фирмой ПК «Ярославич» с 2019 года выпускаются современные машины УРМ-10 и УРМ-10М, которые обладают большей производительностью и надежностью в работе, высоким качеством внесения мелиорантов, а также возможностью работать по точному земледелию с электронными картами полей, позволяющими учитывать пестроту почвенной кислотности. Для реализации программы повышения плодородия почв и увеличения площадей по известкованию в Ленинградской области в 2022 году прошли государственную регистрацию доломит сыромолотый мелкозернистый (ДСМ) и пылевидная доломитовая мука (ПДМ). Наряду с данными мелиорантами в последнее время большое внимание уделяется фосфогипсу, полученному из апатитового концентрата с Кольского полуострова. Данный химический мелиорант необходим для полноценного развития возделываемых культур, поскольку на ряду с кальцием содержит фосфор, серу, кремний и цинк.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Осипов А.И.* Научные основы известкования кислых почв: Плодородие почв – основа продовольственной безопасности государства: Материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, Минск, 21 июля 2022 года. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. Стр. 227–231.
2. *Данилова Д.А., Жигунова А.В., Красновидов А.Н.* Выращивание древесных насаждений на постагрогенных землях: Учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2016. 129 с.
3. *Мандрыкин С.С.* Особенности возобновительных процессов древесных пород на постагрогенных землях СЗФО: канд. дисс. 2019. 210 с.
4. *Голубева Л.В.* Лесоводственно-экологическая трансформация постагрогенных земель на карбонатных отложениях в подзоне средней тайги Архангельской области: канд. дисс. Архангельск, 2015. 157 с.
5. *Якушев В. П., Петрушин А.Ф.* Получение, обработка и использование данных дистанционного зондирования для мониторинга мелиоративного состояния сельскохозяйственных полей //Агрофизика. 2013. № 10. С. 52–58.
6. *Осипов А.И., Губайдуллин Н.Ф., Лукманов А.А., Миннуллин Р.М.* Коварство кислых почв и пути решения вопросов их известкования: Сборник научных трудов Отделения сельскохозяйственных наук ПАНИ. Санкт-Петербург, 2023. С. 41–49.

ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПОЧВ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Пономарёва Т.В.^{1,2}, Пономарёв Е.И.^{1,2}

¹ *Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, bashkova_t@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru*

² *Сибирский федеральный университет, Красноярск*

В современных условиях интенсивного промышленного освоения северных территорий, являющихся труднодоступными из-за отсутствия инфраструктуры и сурового климата, использование спутниковых средств и спектральных индексов для мониторинга состояния территорий является одним из наиболее эффективных инструментов в тематическом анализе. Периодическая спутниковая съемка и вычисляемые на ее основе параметры позволяют оценивать

состояние растительных покровов, напочвенного покрова. Кроме того, совместное с дистанционными данными использование математического моделирования позволяет также оценить и тепловое состояние почв [1, 2]. К факторам, приводящим к масштабным трансформациям экосистем, относится добыча полезных ископаемых. Так, в результате разработки и эксплуатации золоторудных месторождений наблюдается изменение теплового состояния территорий в течение длительного времени [3]. Такие изменения происходят за счет деструктивных процессов в почвах, а зачастую и смены ландшафта, следствием чего могут быть изменения гидротермического режима территории, условий для сукцессии растительных покровов.

В дистанционном мониторинге состояния растительного покрова широко используются вегетационные индексы, в частности, – Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Вместе с тем, трансформация растительности и напочвенного покрова всегда сопровождается изменением теплового режима поверхности, вызванного изменением спектральных свойств поверхности (альбедо) и изменением теплофизических свойств верхних горизонтов почв [4]. В связи с этим важным показателем состояния и функционирования компонентов экосистем можно рассматривать изменение теплового поля и долговременную динамику тепловых аномалий.

В данной работе использовались спутниковые снимки с 1973 по 2022 г. среднего пространственного разрешения (15–100 м) Landsat-8/OLI/TIRS (Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor), Landsat-7 ETM (Enhanced Thematic Mapper), Landsat-4-5 TM (Thematic Mapper). А также съемка Landsat-1 MSS (Multispectral Scanner System) для обнаружения повреждений на наиболее ранних стадиях. Дешифрирование трансформированных участков выполнялось по визуальным критериям и спектральным признакам. Для оценки техногенных трансформаций были выбраны серии спутниковых данных и восстановлены спектральные характеристики для территорий, находящихся на разных стадиях посттехногенного состояния: Наталкинское месторождение, разработка с 1990 г.; Куранахское рудное поле, разработка с 1965 г.; Вернинское месторождение, эксплуатация с 2011 г.; Олимпиадинское месторождение, эксплуатация с 1990 г. Мы рассматривали данные для каждого объекта в общей совокупности с рядами спектральных характеристик для остальных объектов, анализируя усредненные по всем измерениям тренды тепловых аномалий на протяжении всего периода техногенного воздействия. Усреднение тепловых характеристик выполнялось по данным за летний период. Данные температур калибровались и усреднялись для нарушенных участков и анализировались относительно данных прилегающих фоновых лесных участков ($\Delta T/T_{\text{фон}}$, %). Полученные значения средствами ГИС преобразованы в карты тепловых полей с выделением уровня аномалий.

Из рассмотрения исключались техногенные водные объекты на нарушенных участках. Участки с посттехногенными нарушениями характеризуются значительным изменением теплового режима в летний период по отношению к фоновым лесным участкам. Тепловые аномалии длительное время сохраняются на уровне 15–25 % в конце лета (август), что объясняется практически полным отсутствием растительного покрова на техногенных объектах. Наблюдается рост тепловых аномалий за счет увеличения площади нарушения и процессов в прилегающих буферных зонах. В периоды максимальных температур (июль) такие аномальные превышения температуры могут составлять уже до 50 %, а на некоторых участках – до 100 % относительно фоновых характеристик. При увеличении техногенной нагрузки на территории Сибири можно ожидать дальнейшее увеличение площади участков со значительным изменением тепловых режимов по сравнению с фоном. С учетом длительности процесса стабилизации тепловых свойств поверхности, а также значительного остаточного уровня тепловой аномалии можно предполагать увеличение биосферной роли вновь формирующихся техногенных экосистем. Наиболее значимые процессы, связанные с этим эффектом, могут наблюдаться в криолитозоне, где дополнительный прогрев влияет на динамику сезонно-талого слоя почвы [1].

Обследованные техногенные территории (отвалы пустых пород, дражные отвалы) долговременно находятся в состоянии нерекультивируемых полигонов. Растительный и почвенный покров формируется с нулевой стадии. Как и на послепожарных участках на таких территориях, наблюдается изменение спектральных характеристик и уменьшение температурных аномалий, связанных с зарастанием растительностью и формированием почв, но этот процесс занимает более длительный срок – от 20 до 40 лет. Снижение тепловой аномалии до ~10 % свидетельствует об успешном процессе формирования напочвенного покрова и изменении теплофизических свойств почв за счет биогенной трансформации начального субстрата.

Работа выполнена по темам № FWES-2022-00010 и за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, <https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарева Т.В., Пономарев Е.И., Литвинцев К.Ю., Финников К.А., Якимов Н.Д. Тепловое состояние нарушенных почв в криолитозоне Сибири на основе дистанционных данных и численного моделирования // Вычислительные технологии, 2022. Т. 27, № 3. С. 16–35.
2. Ponomarev E.I., Masyagina O.V., Litvintsev K.Y., Ponomareva T.V., Shvetsov E.G., Finnikov K.A. The effect of post-fire disturbances on a seasonally thawed layer in the permafrost larch forests of Central Siberia // Forests. 2020. 11:790.
3. Пономарева Т.В., Ковалева Н.М., Пономарев Е.И., Малькевич В.В. Оценка биоразнообразия на территории Олимпиадинского ГОКа «Полюс Красноярск» // Горный журнал. 2020. № 10. С. 48–53.
4. Соколов Д.А., Андроханов В.А., Абакумов Е.В. Почвообразование в техногенных ландшафтах: тренды, результаты и отражение в современных классификациях (обзор) // Вестник томского государственного университета. Биология. 2021. № 56. С. 6–32.

ДЫХАНИЕ ПОЧВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Семина Д.Е., Ахметова Г.В., Придача В.Б.

*Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск,
pridacha@krc.karelia.ru*

Дыхание почвы наряду с поглощением растениями CO₂ из атмосферы в процессе фотосинтеза в наибольшей степени определяет углеродный баланс наземных экосистем. Интенсивное антропогенное воздействие на наземные экосистемы вызывает существенные изменения структуры почвенного покрова и свойств самих почв, в том числе трансформацию как процессов депонирования углерода, так и его эмиссии с поверхности почвы. Восстановление почвенного покрова и растительности на нарушенных землях после добычи минеральных ископаемых открытым способом занимает длительный период, ускорить который можно при использовании методов лесной рекультивации. Целью исследования была оценка динамики эмиссии CO₂ и микробного дыхания почвы в ходе посттехногенной сукцессии почв при проведении лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в условиях Южной Карелии.

Работа выполнена в европейской части средней тайги (Республика Карелия, 62.101917° N, 33.969944° E) на территории отработанного песчано-гравийного карьера (ПГК) в июле 2021–2022 гг. Рекультивацию посттехногенной территории провели в 1991 г. посредством посадки однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на предварительно выровненном участке площадью 2 га [2]. На части участка (около 0.5 га) сеянцы высаживали в песчаный техногенный грунт, на поверхность которого предварительно вносили торфяной субстрат. Через 30 лет после посадки растений нами проведена оценка биологической активности

почв на трех модельных участках (размер каждого 25×40 м) с разными вариантами рекультивации: 1) посредством посадки сосны в песчано-гравийный минеральный грунт (ПП 1, ПП 2); 2) в улучшенный торфом субстрат (ПП 3), где дополнительно выделены микросайты с доминированием зеленых мхов и черники (ПП 3-1) и злаковой растительности (ПП 3-2). Контролем послужили естественные почвы ненарушенного 110-летнего сосняка брусничного (ПП 4, 30×40 м), существовавшего на данной территории до начала разработки карьера.

Полевые исследования эмиссии CO_2 с поверхности почв проводили методом закрытых камер посредством инфракрасного газоанализатора LI-8100A (LI-Cor Inc., США), оснащенного датчиками температуры почвы (Omega, США) и влажности почвы ECH_2O EC-5 (Decagon Devices, Inc., США) в дневной динамике с периодичностью 4 раза в месяц. На каждой ПП устанавливали по 6 колец диаметром 20 см в межкрупной зоне деревьев между растениями травяно-кустарничкового яруса на расстоянии 3–5 м. Измерения величины потока CO_2 с поверхности почв проводили в течение 90 секунд с интервалом в 30 секунд между измерениями согласно штатной конфигурации прибора [3] в 3-кратной повторности для каждого кольца. Измерение микробного дыхания проводили в камеральных условиях в образцах почвы, выдержанных в течение 7 суток при оптимальных гидротермических условиях (температура воздуха 22°C , 60 % полевой влагоемкости) [1]. Скорость базального дыхания определяли по величине выделения CO_2 почвой за 24 часа ее инкубации при температуре 22°C с помощью газоанализатора на базе инфракрасного сенсора AZ 7722 (AZ Instrument Corp., Тайвань). Содержание углерода микробной биомассы в почве рассчитывали с учетом величины скорости субстрат-индуцированного дыхания.

Проведенное в июле 2021–2022 гг. исследование влияния различных приемов лесной рекультивации посттехногенной территории карьера на составляющие углеродного баланса выявило значимое влияние как фитоценологических условий, так и года исследований на величину почвенной эмиссии CO_2 . Наименьшие величины почвенной эмиссии нами отмечены в условиях псаммоземов ПП 1 ($117.9 \dots 138.6$ мг $\text{CO}_2/\text{м}^2$ ч) и ПП 2 ($141.7 \dots 167.2$ мг $\text{CO}_2/\text{м}^2$ ч) по сравнению как с реплантоземом ПП 3 ($344.9 \dots 523.5$ мг $\text{CO}_2/\text{м}^2$ ч), так и естественными почвами ПП 4 ($302.9 \dots 536.4$ мг $\text{CO}_2/\text{м}^2$ ч). Факт более высоких значений дыхания почвы в улучшенных посттехногенных (ПП 3) и фоновых природных условиях (ПП 4) можно объяснить как более высоким плодородием почв ПП 3 и ПП 4 относительно ПП 1 и ПП 2, так и вкладом лесной подстилки, а также большим вкладом корневого дыхания вследствие большей биомассы корней более высокопродуктивных древостоев [2]. Представляется вероятным и большой вклад гетеротрофного дыхания в общую эмиссию CO_2 с поверхности почв ПП 3 и ПП 4, что хорошо согласуется с полученными нами более высокими значениями измеренного в лабораторных условиях почвенного микробного дыхания, содержания углерода микробной биомассы и коэффициента микробного дыхания почв ПП 3 и ПП 4 по сравнению с таковыми для ПП 1 и ПП 2. Кроме того, отмеченные различия могут быть связаны с термическим режимом почвы ПП 1 и ПП 2, температура которых в июле 2021 и 2022 г. в 1.6 раза превышала таковую почв ПП 3 и ПП 4. Оценка сопряженности изменчивости величины почвенной эмиссии на разных ПП и температуры почвы в июле 2021 и 2022 г. выявила значимую обратную зависимость показателей ($r = -0.65$, $p < 0.05$). Важно также отметить существенное увеличение почвенного дыхания в условиях ПП 3 и ПП 4 (в 1.5 и 1.8. раза соответственно) в более влажный сезон 2022 г. относительно 2021 г. Большая стабилизация значений почвенной эмиссии в межгодовой динамике в условиях ПП 1 и ПП 2 может быть связана с более высоким испарением влаги вследствие большего прогрева почвы на фоне отсутствия лесной подстилки по сравнению с показателями ПП 3 и ПП 4. При этом вследствие высокой неоднородности напочвенного покрова ПП 3 на фоне прочих схожих внешних условий почвенная эмиссия CO_2 на ПП 3-2 превышала в 1.6 раза таковую на ПП 3-1 и составила 617.9 мг $\text{CO}_2/\text{м}^2$ ч. Однако величина базального дыхания в верхнем наиболее активном минеральном горизонте (0–10 см) была схожей для микросайта ПП 3-1 и ПП 3-2 и составила $234\text{--}257$ мг $\text{CO}_2/\text{м}^2$ ч.

Отмеченный более высокий уровень почвенного дыхания на ПП 3-2, очевидно, может быть обусловлен большим вкладом автотрофного дыхания вследствие большей биомассы корней злаковых растений относительно ПП 3-1.

Таким образом, использование богатого питательными веществами и диаспорами растений торфяного субстрата при создании лесных культур сосны на посттехногенной территории значительно ускорило процессы восстановления почвенно-растительного покрова (ПП 3). Значительное накопление органического углерода в реплантоземах индуцирует рост дыхательной активности почв до значений, характерных для природных ненарушенных почв (ПП 4). Полученные результаты могут быть использованы для прогнозных оценок трансформации почвенно-растительного покрова посттехногенных экосистем в различных пространственных и временных масштабах.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева Н.Д., Сушко С.В., Иващенко К.В., Васнев В.И. Микробное дыхание почв подтайги и лесостепи европейской части России: полевой и лабораторный подходы // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1276–1286. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20100044>.
2. Костина Е.Э., Ахметова Г.В., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А., Крышень А.М. Формирование растительного покрова при лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в Республике Карелия // Растительные ресурсы. 2022. № 3. С. 290–310. <https://doi.org/10.31857/S0033994622030074>.
3. LI-8100A. Automated soil CO₂ flux system. LI-8150 Multiplexer. Instruction manual. Nebraska, 2012. 396 p.

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПОДСТИЛОК СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО СКАЛЬНОГО И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯ В УСЛОВИЯХ ПИРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Солодовников А.Н.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск

Пирогенное воздействие существенно изменяет физические, химические и биологические характеристики верхних горизонтов почв, их запас, фракционный состав органогенных горизонтов. Почвы, подвергавшиеся воздействию пожаров, оказывают значительный фитотоксический эффект как на растительный покров, так и снижение численности ферментативной активности почвенной микробиоты (Коган, Панина, 2010; Максимова и др., 2014; Медведева, 2020). Наиболее сильной пирогенной трансформации подвергается подстилка – главное звено, через которое осуществляется взаимодействие растительности и почвы (Краснощеков, 2011). Устойчивые к разложению продукты пирогенеза сохраняются в почвах десятки лет. Последствие пожаров имеет широкую амплитуду – от положительного до отрицательного. Важнейшие деградационные явления связаны с потерей гумуса, нарушением водного и теплового режима, включая заболачивание (Тарасов и др., 2011). В Республике Карелия, где лесной фонд занимает значительную часть территории, проводимые ранее исследования касаются в основном микробо-биологического аспекта, таким образом более полное изучение последствий пирогенного воздействия приобретает особую актуальность.

Пробная площадь расположена в Петрозаводском лесничестве в 500 м от д. Кончезеро, представляет собой сосняк черничный, в напочвенном покрове доминируют черника, брусника и зеленые мхи. В пределах пробной площади находится гарь (низовой пожар средней интенсивности) возрастом 1 год. Общая площадь гари составляет 0,04 га.

Подстилка сосняка черничного является типичной для среднетаежной подзоны и довольно четко разделяется на OL и OFH. Мощность подстилок составила в среднем $7,8 \pm 1,8$ см. В основном лесная подстилка на 87,7 % состоит из трухи, тогда как крупные идентифицируемые фракции опада представлены шишками 4 %, очесом мхов 2,7 %, ветками 2,5 %, корой 1,4 %, хвоей 1,4 % и листьями 0,5 %. В трухе преобладает фракция с размером частиц < 2 мм, составляя в среднем $44,5 \pm 4,3$ % от общей массы трухи.

В результате пожара средней интенсивности произошло значительное нарушение лесного биогеоценоза. В первую очередь пострадала напочвенная растительность, практически полностью уничтоженная в эпицентре пожара. Спустя год в эпицентре наблюдается от 5 до 10 % проективного покрытия растений напочвенного покрова. Наблюдается серьезное выгорание подстилки. Мощность пирогенно-трансформированной подстилки колеблется около 1 см, почти не варьирует по площади и не разделяется на подгоризонты. Подстилка имеет чернобурый цвет и насыщена угольной пылью. Плотность подстилок составила 245 ± 22 мг/см³, что более чем в четыре раза больше контроля. Запас 235 ± 36 мг/см², что почти в половину (на 215 мг/см²) меньше, чем на контрольном участке.

Потеря массы, по сравнению с ненарушенным (контрольным) участком, составила в среднем 44,9 %. Отмечено полное исчезновение таких фракций подстилки, как листья, очес и шишки. Фракция, состоящая из коры, потеряла 5/7 своей массы, составляя 0,4 % по сравнению с 1,4 % в контроле. Масса веток в подстилке уменьшилась до 0,8 % с 2,5 % в контроле. Остатки коры и веток в большинстве своем имеют следы пирогенного воздействия. Появившаяся фракция угли (1,3 %), судя по форме фрагментов, является, по большей части, сгоревшими ветками. Вся присутствующая в пирогенно-нарушенной подстилке хвоя, является опадом за последний год, тогда как предыдущая хвоя полностью сгорела. Поскольку в подстилке масса хвои, опавшей за год после пирогенного воздействия (1,4 %), практически не изменилась по сравнению с многолетним опадом в контрольном участке (1,4 %), можно предположить, что пожар привел к увеличенному количеству опада с поврежденного древостоя. Процентное соотношение всех фракций частиц разного размера трухи пирогенно-нарушенной подстилки рассчитывалось относительно средней массы трухи ненарушенной подстилки. Анализ показал, что потеря массы трухи относительно контроля составила 45,9 %. Преобладает фракция с размером частиц < 2 мм, составляя в среднем $30,9 \pm 1,5$ % от общей массы трухи. Остальные фракции трухи 2–3 мм, 3–5 мм, 5–7 мм, 7–10 мм и > 10 мм составляют 5,1 ± 0,8 %, 6,8 ± 0,5 %, 3,4 ± 0,2 %, 2,2 ± 0,3 % и 5,6 ± 0,8 % соответственно. Наибольшие потери запаса зафиксированы в наиболее мелкой (< 2 мм) фракции трухи.

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ СПЛОШНОЙ РУБКИ

Старцев В.В.¹, Севергина Д.А.¹, Дымов А.А.^{1,2}

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, vik.startsev@gmail.com, angels-danya@mail.ru

² Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, aadytomv@gmail.com

Наиболее существенные изменения лесных почв, как по глубине этих изменений, так и по площади связаны с рубками главного пользования. Но при этом, работы по оценке изменений почвенного органического вещества (ПОВ) для условий Европейского Севера при сплошных рубках носят единичный характер [1, 2]. Важной составляющей ПОВ является его водорастворимая фракция – водорастворимое органическое вещество (ВОВ) [6], которая представляет лишь небольшую часть ПОВ, но оказывает сильное влияние на ряд экологически значимых процессов в почве. Растворенный в почве органический углерод является основной

формой лабильного углерода в наземных экосистемах и, следовательно, играет жизненно важную роль в круговороте углерода в почве [5]. Содержание и характер распределения лабильных форм углерода и азота оказывает влияние на формирование химического состава почв, участвует в циклах переноса различных питательных элементов [3, 4]. Поэтому сведения о содержании ВОВ актуальны для получения объективной информации о глобальном цикле углерода.

Цель работы – оценить содержание и распределение углерода и азота водорастворимых органических соединений в подзолистой почве в первые годы после рубки.

Исследования проводили на территории Сыктывдинского района Республики Коми. Объектом исследования является подзолистая почва. Подробно объекты описаны ранее [2]. Были заложены фоновый почвенный разрез до рубки (2020 г.) и разрезы на пасечном участке после рубки в 2021 (один год) и 2022 (два года) гг. Образцы отбирались ежемесячно с мая по октябрь (в 2021 году с июня по сентябрь). Водорастворимый органический углерод ($C_{\text{ВОВ}}$) и азот ($N_{\text{ВОВ}}$) определяли на анализаторе ТОС-VCPN (Япония, Shimadzu) с модулем TNM-1. Полученные результаты пересчитывали на воздушно-сухую навеску анализируемой пробы.

Было установлено, что исходная почва до рубки характеризуется содержанием углерода $C_{\text{ВОВ}}$ от 1,68 до 21,71 мг/г в подстилке и 0,02–0,15 мг/г минеральных горизонтах (рис. 1). С течением времени после проведения рубки наблюдались изменения в содержании ВОВ. Спустя год после рубки выявлено значительное уменьшение содержания $C_{\text{ВОВ}}$ в органогенном горизонте почвы (от 3,3 до 9,1 мг/г), в минеральных горизонтах содержание $C_{\text{ВОВ}}$ варьировало от 0,04 до 0,29 мг/г, что в целом выше, чем исходные значения до рубки. На второй год после рубки выявлено возрастание содержания водорастворимого органического углерода, как в органогенном (до 33,4 мг/г), так и в минеральных горизонтах (до 0,46 мг/г).

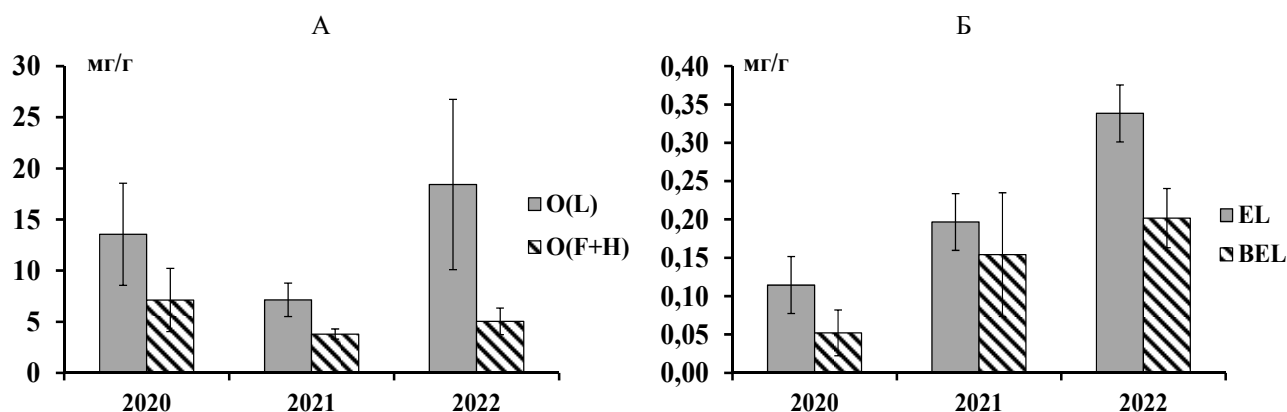


Рис. 1. Содержание углерода ВОВ в подстилке (А) и верхних минеральных горизонтах (Б) исследованной почвы с 2020 по 2022 гг. n = 4–6, ± стандартное отклонение

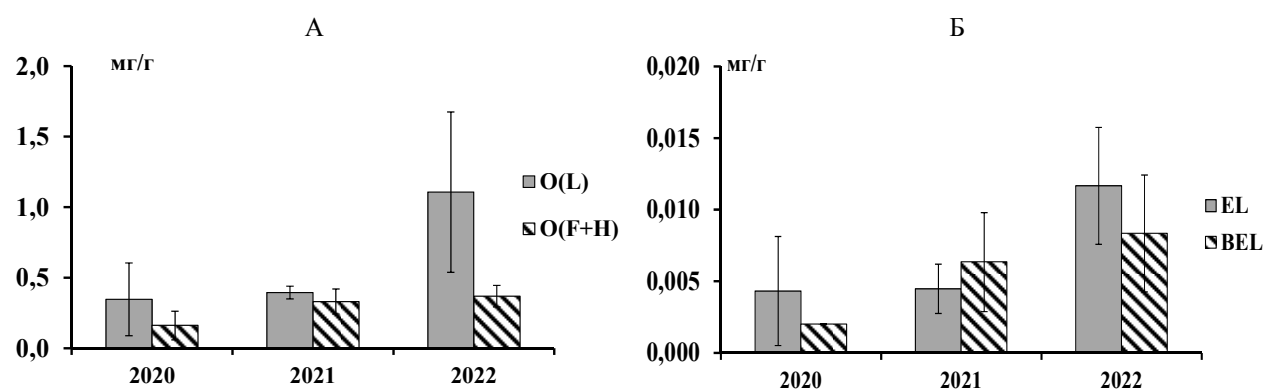


Рис. 2. Содержание азота ВОВ в подстилке (А) и верхних минеральных горизонтах (Б) исследованной почвы с 2020 по 2022 гг. n = 4–6, ± стандартное отклонение

Содержание водорастворимого азота значительно меньше, чем углерода, но характеризуется теми же закономерностями. Содержание водорастворимого азота также максимально в органогенных горизонтах, в минеральных показателе $N_{\text{ВОВ}}$ крайне низкий.

Для фоновой почвы в 2020 г. содержание варьировало в подстилках от 0,07 до 0,77 мг/г (рис. 2). Спустя год после рубки содержание $N_{\text{ВОВ}}$ в подстилке почвы варьировало от 0,32 до 0,46 мг/г. Спустя два года после рубки наблюдается значительное возрастание азота ВОВ в органогенном горизонте и составило 0,23–2,12 мг/г. В минеральных горизонтах также выявлена тенденция к увеличению содержания $N_{\text{ВОВ}}$ после рубки. Фоновые значения до рубки составляли 0,002–0,011 мг/г. После рубки показатель изменялся от 0,003 до 0,020 мг/г.

Таким образом, исследования показали тенденцию увеличения содержания водорастворимых органических веществ в почвах после сплошной рубки. Показатели содержания углерода и азота водорастворимых органических соединений в подстилках и верхних минеральных горизонтах почв можно считать условным диагностическим признаком влияния рубок на почвенное органическое вещество, поскольку значительно отличаются от исходных показателей. Отличия можно объяснить изменениями в составе растений напочвенного покрова, дополнительным поступлением органических веществ с порубочными остатками, изменением водного режима в исследуемых почвах.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 23-74-10007 «Изменение почв и компонентов цикла углерода в ходе восстановительной сукцессии после сплошной рубки в средней тайге европейского северо-востока России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с.
2. Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Севергина Д.А., Кутявин И.Н., Осипов А.Ф., Дубровский Ю.А. Изменения почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1426–1441. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22110028>.
3. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв. М.: ГЕОС, 2011. 266 с.
4. Don A., Kalbitz K. Amounts and degradability of dissolved organic carbon from foliar litter at different decomposition stages. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. Vol. 37, N. 12. P. 2171–2179.
5. Guo Z, Wang Y, Wan Z, et al. Soil dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: Globalbudget, spatial distribution and controls. *Global Ecol Biogeogr*. 2020. Vol. 29, N. 12. P. 1–17. <https://doi.org/10.1111/geb.13186>.
6. Kielland K. Amino acid absorption by arctic plants: implications for plant nutrition and nitrogen cycling // *Ecology*. 1994. Vol. 75. P. 2373–2383.

АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В КЛАССИФИКАЦИОННОМ АСПЕКТЕ

Суханов П.А.¹, Комаров А.А.¹, Гостинцева Е.В.²

¹ ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, pavel_suhanov@mail.ru

² ФГБУ ЦАС «Ленинградский»

Классификация почв и соответствующая ей система диагностических признаков почв – главный инструмент для картографического отображения почвенного покрова, свойств почв, их плодородия, а соответственно и продуктивности земель. В Классификации и диагностике почв СССР [1], обобщившей большой опыт классификационных разработок, отражены определенные агрогенно обусловленные изменения в морфологии и свойствах основных типов

лесных почв. Так подзолистые почвы (включая и дерново-подзолистые), используемые в земледелии выделены в особую таксономическую группу, так как по условиям формирования и свойствам они значительно отличаются от целинных аналогов. Однако, в рамках названной классификации [1] таксономический уровень для такой группы почв не был определен и, очевидно его невозможно было сделать, поскольку верхним уровнем классификации был тип почв.

По особенностям строения профиля подзолистые почвы, используемые в земледелии, были подразделены на три крупные таксономические группы: освоенные, окультуренные и культурные. Система горизонтов для освоенных почв подзолистого типа имела следующий вид: $A_{\text{пах}} - (A_2) - (A_2B) - B (B_1, B_2) - BC - C$. Для окультуренных почв подзолистого типа была определена следующая система горизонтов: $A_{\text{пах}} - (A_1) - (A_2) - (A_2B) - B(B_1, B_2) - BC - C$. Эти две группы почв были выделены на уровне подтипов в типе подзолистых почв вместе с целинными. Исходя из приведенных систем горизонтов при земледельческом освоении целинные подзолистые и дерново-подзолистые почвы приобретают общую систему горизонтов, становятся морфологически неотличимыми и по системе горизонтов соответствуют дерново-подзолистым почвам. В Классификации и диагностике почв России [2] почвы с приведенными системами горизонтов соответствуют типу агродерново-подзолистых почв с системой горизонтов: $P - (EL) - ELB (BEL) - BT - C$. В результате земледельческого использования сформировался агрогенно обусловленный пахотный горизонт, имеющий типовое диагностическое значение. Признаки подзолистого типа почв сохраняются в виде сохранившейся нижней части подзолистого горизонта (EL) или переходного горизонта (ELB). На основе многолетнего опыта почвенных обследований в таежно-лесной зоне нами было установлено, что пахотный горизонт вновь освоенных подзолистых, дерново-подзолистых и других лесных почв имеет неоднородный состав, поскольку в него вовлекаются и перемешиваются несколько верхних маломощных горизонтов (лесная подстилка или дернина, гумусовый, элювиальный, а часто и срединный). Почвы с неоднородным по составу пахотным горизонтом было предложено выделять на уровне гетерогенных подтипов [3, 5].

Согласно классификации [1] третья группа почв подзолистого типа, используемых в земледелии это подзолистые культурные почвы со следующей системой горизонтов: $A_{\text{пах}} - A_1 - B(B_1, B_2) - BC - C$. В этих почвах агрогенно сформированный гумусовый профиль состоит из собственно пахотного горизонта ($A_{\text{пах}}$) и подпахотного горизонта (A_1). Пахотный горизонт мощностью 25–30 см. Подпахотный горизонт (A_1) достигает мощности 10 см и более. Подзолистый горизонт (A_2) или его признаки в виде A_2B , которые являются диагностическими для подзолистого типа почв, отсутствуют. Почвы были выделены на уровне типа: подзолистые культурные почвы. Однако, сохранение в названии почв слова «подзолистые» представляется необоснованным при отсутствии в профиле подзолистого (A_2) или оподзоленного (A_2B) горизонтов. В новой классификации [2] почвы с приведенной системой горизонтов соответствуют типу агроземов текстурно-дифференцированных с профилем: $P - BT - C$. Практический опыт показал, что в агроземах или в культурных подзолистых почвах под собственно пахотным горизонтом (P) мощностью 25–30 см часто образуется также и подпахотный, агрогенно обусловленный горизонт. Однако, в новой классификации [2] присутствие подпахотного горизонта у агроземов не предусмотрено.

В этой связи представляется целесообразным дополнить определение агроземов, сформулированное Лебедевой И.И., Тонконовым В.Д. и Шишовым Л.Л. [4] следующими словами: агроземы – это почвы с агрогенно сформированным гумусовым профилем (а не только пахотным горизонтом).

Общая схема агрогенной трансформации целинных лесных почв при их земледельческом освоении была представлена в отчете [3]. В новой классификации [2] она реализована в виде схем строения профилей и эволюции различных групп почв. Основные характеристики гумусового профиля (мощность и содержание гумуса) в освоенных лесных почвах, обусловлены характером их земледельческого использования.

Исследованиями почв на тестовых полигонах Ленинградской области нами было установлено следующее. Мощность гумусового профиля, включающего в себя пахотный горизонт ($A_{\text{пах}}$) и подпахотный (A_1), составляет у почв в овощных севооборотах 33–39 см, в почвах зерно-пропашных севооборотов 29–33 см, а в почвах кормового севооборота лишь 25–27 см. Также существенны различия в содержании органического вещества в пахотном и подпахотном горизонтах. В пахотном горизонте почв овощных севооборотов его содержание составляет 4,22–6,18 %, зерно-пропашных севооборотов – 3,09–3,36 %, а кормового севооборота – всего 2,98 %. В подпахотных горизонтах всех профилей содержание органического вещества незначительно уменьшается и составляет в почвах овощного севооборота 3,29–6,08 %, в почвах зерно-пропашного севооборота 2,49–3,18 % и в почвах кормового севооборота – 2,90 %. В срединных горизонтах (B) содержание органического вещества резко падает до долей процента, еще более снижаясь с глубиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
2. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Лебедева И.И., Перцович А.Ю., Суханов П.А., Терентьев В.И., Тонконогов В.Д. Классификация сельскохозяйственно-освоенных и антропогенно-преобразованных почв, других поверхностных (непочвенных) образований для целей крупномасштабного и детального почвенных обследований. Отчет о выполнении работ по договору № 21/10 от 7.04.94. РОСНИИ ЗЕМПРОЕКТ, СЕВЗАПНИИ ГИПРОЗЕМ, Санкт-Петербург. 1994. 153 с.
4. Лебедева И.И., Тонконогов В.Д., Шишов Л.Л. Развитие идей Н.М. Сибирцева в области классификации почв. Почвенные исследования на Европейском севере России. Архангельск. 1996. С. 16–23.
5. Суханов П.А., Перцович А.Ю. Антропогенное преобразование земель и его отражение в классификации почв. Почвенные исследования на Европейском севере России. Архангельск. 1996. С. 24–31.

ГУМУСООБРАЗОВАНИЕ ПОД ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ПОЧВ

Тихонова Е.Н., Трещевская Э.И., Голядкина И.В., Трещевский И.В.

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
tichonova-9@mail.ru*

Мировая горнодобывающая промышленность с ее темпами развития считаются лидирующими среди других областей. Этому соответствует рост площадей техногенных ландшафтов. Все они, в той или иной степени, требуют ремедиации или рекультивации. Для грамотного проведения восстановительных мероприятий необходимо изучение особенностей различных почвенных процессов на начальном этапе почвообразования. Минеральный субстрат – это только «исходный материал» почвы. Но оживят этот субстрат и превратят в почву лишь те первоначальные поселенцы, которые повысят эдафические свойства до необходимого уровня для создания типично зонального биогеоценоза. Следовательно, над её созданием, после выхода на поверхность горных пород, с внешней стороны потрудились физические и химические силы географической среды (большей частью, климат) и живое вещество конкретной зоны. В почвоведении бытует одна из основных аксиом: «всюду, где поселяются растения, начинается почвообразование, в ходе которого формируется почва». Другими словами, если вне почвы некоторые неприхотливые растения всё же могут как-то существовать, то без растений не может быть настоящей почвы.

Наши исследования посвящены изучению гумусонакопления и состава гумуса в слаборазвитых почвах, так как сама природа гумуса и его состав отражают условия почвообразования

и их изменения. Нами были исследованы молодые почвы конвейрного отвала Лебединского ГОКа КМА, формирующиеся на различных грунтосмесях и под различными фитоценозами (15-ти летнего возраста).

По сравнению с контролем значительно возросло содержание углерода органических соединений в субстратах, процент которого колеблется в широких пределах, отражая особенности поступления этого элемента с опадом и общими запасами лесной подстилки. Наиболее интенсивно гумусообразование протекает под пологом культур ольхи (С % до 1,40 в верхнем 0–5 см слое). Здесь же в субстратах имеет место ярко выраженная биогенная аккумуляция кальция и, напротив, под влиянием гумусовых кислот – вынос магния из корнеобитаемого профиля. Менее интенсивно гумусообразование идет в субстратах под влиянием культур акации белой и лоха узколистного (С % до 0,88 и 0,78 соответственно); менее всего углерода органических соединений образуется под облепихой и березой (С % до 0,66 и 0,55 соответственно). Здесь же наблюдается и наименьшая биогенная аккумуляция кальция. Содержание общего азота в субстратах находится в тесной зависимости от поступления его с опадом. Наибольший процент общего азота отмечен в субстратах под ольхой, облепихой и акацией белой и наименьшей – под лохом. Отношения углерода к азоту свидетельствуют о том, что характер гумусообразования под всеми культурами протекает по гуматному типу с образованием мягких гумусовых кислот. Однако в культурах лоха и березы процессом образования гумуса охвачена только верхняя 0–20 см толща, в то время как под остальными культурами образование гумуса прослеживается в слое 0–50 см.

Изучение группового и фракционного состава гумуса в молодых почвах обнаружило гуматный характер. Во всех пробах, взятых из-под многолетнего разнотравья и лесных культур, в составе гумуса преобладают гуминовые кислоты, в результате чего отношение $S_{гк} : S_{фк}$ составляют 1,2–1,6. Исключение представляют молодые почвы под облепихниками, в гумусе которых наибольшее количество содержится фульвокислот. Отношение $S_{гк} : S_{фк}$ в этом гумусе значительно меньше 1,0.

В молодых почвах на глинисто-суглинистых субстратах аналогично зональным черноземам типичным среди гуминовых кислот преобладает фракция 2, связанная с кальцием. Причем, наиболее высокое содержание гуматов кальция отмечается под покровом разнотравья, наименьшее – под облепихой. Все остальные лесные культуры занимают промежуточное положение.

Гуминовые кислоты, связанные с глинистой фракцией и устойчивыми формами полуторных окислов (фракция 3) занимают промежуточное место в составе гуминовых кислот и составляют от 21 до 36 %. Содержание подвижных гуминовых кислот незначительно. Причем, наибольшее их количество обнаруживается в молодой почве под культурами облепихи.

В составе фульвокислот преобладает фракция, связанная с фракцией 3 гуминовых кислот. Значительное содержание фракции 3 как в составе гуминовых, так и в составе фульвокислот, можно объяснить включением в субстраты мела и мергеля, способствующего насыщению кальцием глинистых минералов, которые с гумусовыми кислотами образуют прочные глинисто-гумусовые комплексы. Содержание свободных и подвижных фульвокислот незначительно, причем преобладают они под облепихой.

Под влиянием гумусовых кислот в верхних корнеобитаемых слоях идет интенсивный процесс выщелачивания магния, в результате чего резко снижается щелочность субстратов. Так, в верхнем слое 0–5 см величина рН приближается к показателям нейтральной среды: 7,0–7,2.

Влияние лесных культур на изменение мело-мергельных субстратов проявляется менее четко, чем на глинисто-суглинистых. Гумусообразование и содержание углерода органических соединений выражено почти в 2 раза слабее, причем, состав образующегося гумуса во многих случаях отличается низким содержанием азота. Кроме того в гумусе преобладают фульвокислоты. Это имеет место в субстратах под акацией и ольхой с глубины 5–10 см и под всеми культурами ниже 40 см.

Наиболее интенсивное гумусообразование наблюдается в культурах лоха и акации за счет интенсивного разложения листьев в последней, а также некоторой примеси разнотравья. Значительное поступление листового опада в посадках березы обуславливает образование углерода органических соединений в мело-мергельных субстратах, близкое по количеству к ольхе серой.

Аккумуляция гумуса на первых стадиях почвообразования имеет преимущественно внутриверхний характера распределения. А поверхностная аккумуляция мозаична и приурочена к местам скопления наземного опада.

ПОЛЕВАЯ ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ТИМОФЕЕВКИ ЛУГОВОЙ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПОСЕВА И НОРМАХ ВЫСЕВА

Трухан О.В.

*ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса, Лобня,
trukhan.olga.2020@mail.ru*

Важнейшая средообразующая роль многолетних трав в повышении устойчивости и продуктивного долголетия агроландшафтов ничем не заменима. Многолетние травы являются единственной группой сельскохозяйственных культур, способствующих сохранению, воспроизводству и накоплению гумуса в почвах. Многолетние травы выполняют также важнейшую почвозащитную функцию на эрозионно- и дефляционноопасных землях, создавая своей надземной и подземной корневой массой прочный покров, устойчивый к действию воды и ветра [1].

В структуре семенных фондов многолетних злаковых трав мезофильные виды занимают доминирующее положение – 58–63 %, в том числе тимофеевка луговая 33–36 % [2].

Тимофеевка луговая – самая распространенная культурная многолетняя злаковая трава в лесной зоне европейской части России. Она обладает универсальными хозяйственно полезными свойствами, являясь источником производства высококачественных кормов: сена, сенажа, силоса, травяной муки, а также может эффективно использоваться для создания парковых газонов и лужаек [2, 3].

В настоящее время потребность в семенах многолетних трав удовлетворяется всего на 45–50 %. При этом семена трав используются, в основном, в полеводстве и, частично, в коммунальном и дорожном строительстве. Их недостаток и в прежние годы сдерживал работы по улучшению природных кормовых угодий [4, 5].

Полевая всхожесть семян определяет качество посева, его выравненность и плотность, показатели, напрямую влияющие на урожайность семян.

Дружные всходы получаются из хороших семян при соответствующей агротехнике и оптимальной норме высева. Однако не всегда оптимальная норма высева гарантирует должную густоту всходов, так как в процессе прорастания вносит свои корректировки полевая всхожесть, т. е. процент взойдящих растений по отношению к общему числу высеянных всхожих семян. Полевая всхожесть семян, как правило, ниже лабораторной всхожести, особенно низка полевая всхожесть семян многолетних трав [6].

Одними из основных агротехнических приемов, регулирующим уровень плотности семенного травостоя, являются норма высева и способ посева семян. Для установления рациональных норм высева и способов посева семян, обеспечивающих формирование оптимальной густоты стояния растений, нами были изучены девять различных градаций норм высева – от 2 до 11 кг/га при ширине междурядий 15 и 30 см.

Наши исследования выявили зависимость показателя густоты всходов от нормы высева семян. Так, наибольшее количество всходов в 2020 году – 493 шт./м² сформировалось при норме высева 11 кг/га всхожих семян, а наименьшее – 117 шт./м² – при норме высева 2 кг/га.

При аналогичных нормах высева, при ширине междурядий 15 см всходов было больше на 7–9 %. Это объясняется тем, что при черезрядном посеве плотность семян в рядке увеличивается, а при наличии больных и зараженных спорами грибов семян вероятность поражения здоровых семян существенно повышается. Возможно также проявление внутрирядковой конкуренции или негативного влияния при повышении концентрации продуктов метаболизма прорастающих семян. В дальнейшем, в более загущенных рядках возрастает конкуренция растений за питательные вещества и влагу, что может привести к угнетению процесса образования генеративных побегов. Это свидетельствует о целесообразности снижения нормы высева при черезрядном способе посева семян.

Полевая всхожесть семян в наших опытах была неодинакова и в разных вариантах составляла от 23,6 до 49,0 % в 2020 г. При более низких нормах высева она увеличивалась на 19–25 %. Нами было подтверждено закономерное снижение полевой всхожести с повышением нормы высева семян у тимофеевки луговой сорта ВИК 911.

Снижение нормы высева способствовало повышению засоренности посевов. При уменьшении нормы высева до 2 кг/га количество однолетних сорняков в год посева в начале кущения тимофеевки луговой составило 120–122 шт./м². При высеве 8–10 кг/га кондиционных семян тимофеевки луговой количество сорных растений составило 72–76 шт./м², что на 69–71 % меньше, чем в варианте с наименьшей нормой высева семян тимофеевки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В.Р. Вильямса на службе российской науке и практике / Под ред. член-корр. Россельхоз. академии В.М. Косолапова и И.А. Трофимова. М.: Россельхоз. академия, 2014. 1031 с.
2. Косолапов В.М., Шамсутдинов З.Ш., Ившин Г.И. и др. Основные виды и сорта кормовых культур // под ред. Косолапова В.М. М.: Наука, 2015. 543 с.
3. Люшинский В.В., Прижуков Ф.Б. Семеноводство многолетних трав. М.: Колос, 1973, 248 с.
4. Агрэкологическое семеноводство многолетних трав: Методическое пособие / Переprawo Н.И., Золотарёв В.Н., Косолапов В.М. и др. М.: Издательство РГАУ – МСХА, 2013. 54 с.
5. Переprawo Н.И. Состояние семеноводства кормовых культур в России, его проблемы и пути решения // Кормопроизводство: проблемы и пути решения. Лобня, 2007. С 390–394.
6. Трухан О.В. Полевая всхожесть семян клевера лугового кислотоустойчивого сорта Топаз при различных методах предпосевной обработки семян // Козыбаевские чтения – 2021: Новые подходы и современные взгляды на развитие образования и науки // Материалы научной конференции. Том II. Петропавловск, 2021. С. 140–142.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТКО г. БРЕСТА

Хващевский М.И., Качанович П.В.

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, Брест, info@paei.by

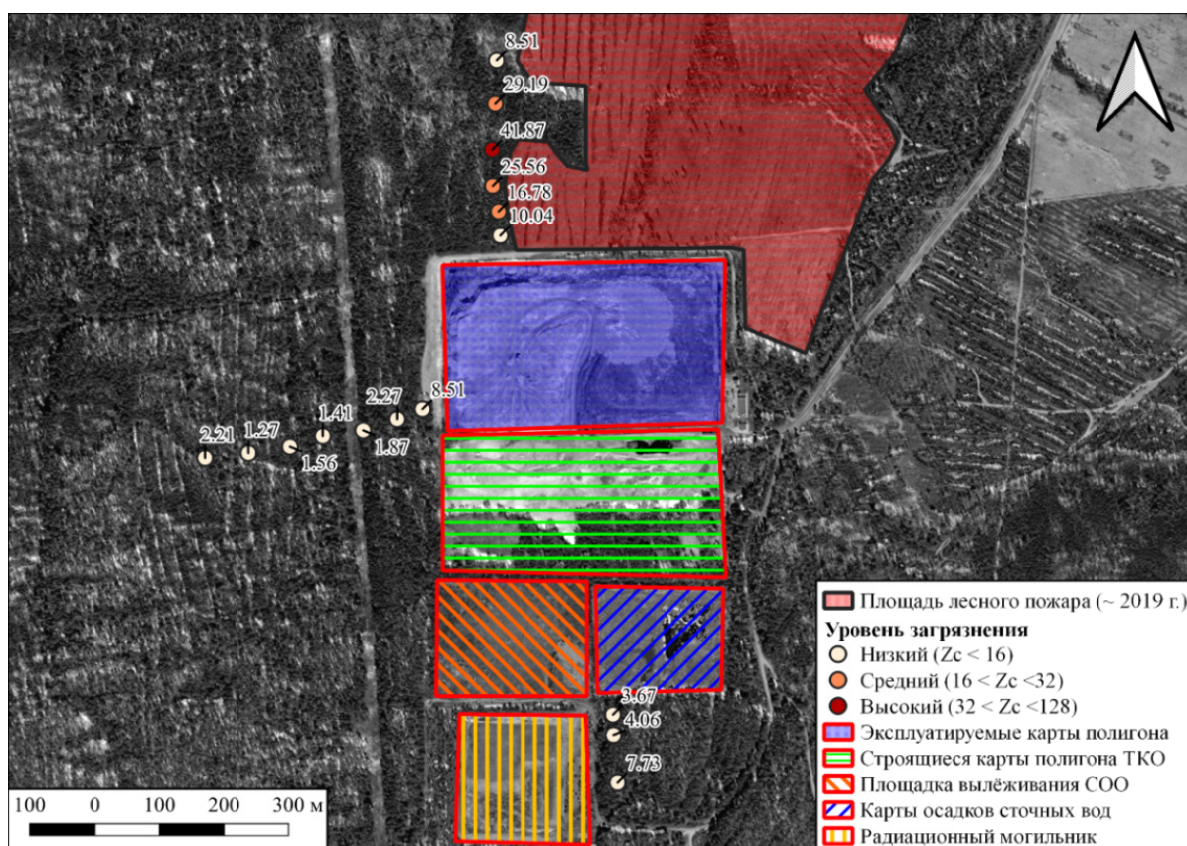
В настоящее время основным и наименее затратным путем утилизации твердых бытовых и промышленных отходов является их захоронение на специально отведенных и оборудованных полигонах. Данный способ является наиболее распространенным, а в современных условиях Республики Беларусь (с учетом экономических и экологических реалий) – наиболее

оптимальным. В 2018 г. на полигонах было размещено 22,5 млн м³ твердых коммунальных отходов (ТКО) или около 3,1 млн тонн, а также 0,8 млн тонн отходов производства, не относящихся к коммунальным. При этом 94 % (21,1 млн м³) ТКО было захоронено на 159 полигонах и около 6 % (1,4 млн м³) – на 835 мини-полигонах [1].

Главным недостатком депонирования отходов на полигонах является длительный период полной деструкции отходов в анаэробных условиях, продолжающийся в течение нескольких сотен лет. Гарантировать надежность работы природоохранных сооружений в течение такого срока не реально, поскольку самая качественная противофильтрационная система перестанет выполнять свои защитные функции по причине естественных процессов старения и трансформации. Кроме того, анализ имеющейся информации о полигонах, мировой опыт сооружения и эксплуатации подобных объектов свидетельствуют о том, что на сегодняшний день никакие инженерно-технические решения не способны на 100 % защитить подземные воды и почвы от загрязнения их фильтратом даже на ранних стадиях функционирования полигона.

В этой связи весьма актуальной является проблема организации и проведения постоянного мониторинга состояния компонентов окружающей среды, включая почвы, в зонах влияния полигонов ТКО.

Объектом исследования являлись дерново-подзолистые песчаные почвы сосняков мшистых в зоне влияния полигона ТКО г. Бреста (в 3 км на юго-запад от д. Струга, Малоритский район). Всего было заложено 3 трансекты с 16-ю пробными площадками (ПП): южная (3 ПП), западная (7 ПП) и северная (6 ПП) (рис.). Образцы почв на трансектах отбирались с глубины 1–10 см (горизонт А1) и анализировались на содержание 8-ми тяжелых металлов (ТМ) (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Cr) с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 ICP-AESDUO (Thermo Scientific).



Пространственное распределение суммарных коэффициентов концентрации ТМ

На основании полученных данных были рассчитаны коэффициенты концентрации, которые определялись как отношение фактического содержания элемента в исследуемой почве к его содержанию в почвах-аналогах фоновых участков. В качестве референтных данных были приняты значения местного геохимического фона, для расчета которого использовались значения концентраций ТМ на ПП № 4, 5, 6 (западная трансекта). При этом средневзвешенная концентрация элементов составила (мг/кг): Pb – 7,32; Cd – 0,03; Cu – 0,7; Zn – 4,02; Mn – 10,2; Ni – 0,70; Co – 0,23; Cr – 1,95.

Уровень загрязнения почв оценивали с использованием суммарного показателя загрязнения (Z_c) по Саету [2]: $Z_{c_{i=1}}^n = \sum K_c - (n - 1)$, где K_c – коэффициенты концентрации (аномальности), превышающие 1; n – число элементов с $K_c > 1$. Уровень загрязнения считается низким, если Z_c находится в пределах 0–16; средним (умеренно опасным) при 16–32; высоким (опасным) при 32–128; очень высоким (чрезвычайно опасным) при $Z_c > 128$.

Анализ полученных данных показал, что содержание Pb, Cd, Cu, Ni, Co в большинстве исследованных почв находилось на уровне местного фона либо незначительно превышало его, тогда как концентрации Zn, Mn, Cr были существенно выше фоновых.

Каждая из трансект имела свои особенности в распределении ТМ в почвах ПП. Наименьшая вариабельность отмечена на западной трансекте, где значения всех 8-ми элементов практически соответствовали фоновым либо были незначительно выше них. Исключением являлась ПП, расположенная наиболее близко к полигону ТКО (35–40 м), в почве которой установлено явное превышение содержания всех ТМ (в 1,3–2,4 раза).

Выраженная тенденция к росту концентраций ТМ обнаружена на южной трансекте, особенно в отношении Zn (K_c 1,43), Mn (K_c 2,67), Ni (K_c 1,37), Co (K_c 1,47) и Cr (K_c 1,65).

Практически на всем протяжении северной трансекты содержание Pb, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Cr превышало местный фон (в том числе в 2 раза по Cd на отрезке 165–170 м). В то время как наиболее высокие коэффициенты концентрации Pb, Cd, Cu, Zn, Cr находились на уровне 1,76–3,55, для Ni и Co их значения возрастали до 6,04–6,60. Неожиданно резкий скачок концентраций отмечен у Mn, особенно на отрезке 165–170 м от полигона (K_c 24, 21). Возрастание содержания ТМ может быть обусловлено произошедшим пожаром в 2019 г.

Таким образом, почвы северной трансекты характеризовались средним (Z_c 16,63–29,03) и высоким уровнем загрязнения (Z_c 41, 63), тогда как западная и южная трансекты испытывали низкую нагрузку от поллютантов.

Работа выполнена в рамках договора БРФФИ № X22Б-010 от 01.04.2022 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка состояния окружающей среды в зонах влияния полигонов твердых коммунальных отходов с определением их эксплуатационных возможностей и разработкой мероприятий по оптимизации экологической ситуации (на примере Брестской области): отчет о НИР (этап № 1) / Полесский аграрно-экологич. ин-т НАН Беларуси; рук. Н.В. Михальчук. Брест, 2020. 16 с. № ГР 20220931.
2. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ МИГРАЦИИ В ПИРОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЛАДОЖСКИЕ ШХЕРЫ»

Чебыкина Е.Ю., Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
doublemax@yandex.ru*

Воздействие различных природных (ветровалы, вспышки численности вредителей), природно-антропогенных (пожары) и антропогенных (лесозаготовки) явлений вызывает демулационные смены в естественных экосистемах. Важным фактором, нарушающим ход естественных процессов в биогеоценозах, являются лесные пожары. Лесные пожары остаются одним из мощных природных факторов, определяющих происходящие на планете крупномасштабные изменения окружающей среды, что позволяет относить их к глобальным явлениям. Под воздействием пожаров площадь земель, занятых ненарушенными экосистемами, в последние годы заметно сокращается. Согласно официальным данным, которые распространяет Рослесхоз, в среднем площадь лесных пожаров в России ежегодно составляет 2,5–3 млн га.

Пожары вносят коренные изменения в лесные экосистемы. Если учесть, что помимо нарушения экосистем пожары приводят к переводу лесов из стоков углерода в источники парниковых газов, то в будущем может возникнуть проблема выполнения международных соглашений и дополнительные экономические потери. Поэтому актуальность работ по изучению влияния пожаров на лесные экосистемы в последние годы значительно возрастает.

Для сосновых сообществ Ладожских шхер пожар опасен. Почвы сосновых лесов на скалистых островах и мысах Ладожских шхер маломощны. Во время низовых пожаров они в большей степени повреждаются огнем, чем в сосняках зеленомошных типов леса. Древостой в результате пожаров практически полностью погибает, и в дальнейшем активное восстановление лесных сообществ происходит за счет возобновления мелколиственных пород с небольшой примесью сосны обыкновенной [1]. Основной причиной пожаров на островах Ладожских шхер являются плохо затушенные костры. Надо обратить внимание, что наибольшей пожароопасностью отличаются леса ландшафтов с преобладанием сосновых местообитаний из групп озерных и озерноледниковых равнин, ледниковых и водно-ледниковых вытянутых холмов и холмов, созданных за счет движения подземных плит с обнаженной поверхностью кристаллического фундамента [2].

Для изучения пирогенных изменений в почвах Республики Карелия были выбраны два постпирогенных участка на территории Лахденпохского лесничества, которые горели в соответствии с данными Общества добровольных лесных пожарных в 2021 году.

Первый участок на материке, перед мостом у о. Корписаари (81 квартал Куркиекского участкового лесничества), ориентировочные координаты 61°15'3.79"N, 29°54'13.97"E. Площадь пожара 1,06 га. Второй участок за мостом у о. Корписаари (93 квартал Куркиекского участкового лесничества), 61°14'31.08"N, 29°55'25.94"E. Площадь пожара 1,1 га. В качестве контроля использовали несгоревшие участки леса с таким же типом почв на значительном удалении от пирогенного воздействия.

Беглый пожар на исследуемом участке возник в 2021 году и охватил весь нижний полог леса и ослабил некоторую часть древесных пород. Локальные участки гари низового пожара имеют небольшую площадь около 1 га (рис.). Интенсивность горения на участке исследования была низкой. Подстильно-торфяные горизонты повреждены на всей площади гари, но в различной степени: в ряде локаций они обуглены, в других случаях – частично выжжены.

Почвы участка исследования представлены дерново-подбуром иллювиально-железистым на скальных породах (Entic Podzols). Профиль почвы контрольного участка выглядит

так: АУ–ВФ–ВС–С. Стоит отметить малую мощность профилей исследованных почв: всего 25–35 см. Такие маломощные почвы, сформировавшиеся на скалах, в силу своего расположения, они легко подвержены антропогенному воздействию: смыву с крутых склонов при повреждении техникой при лесозаготовительных работах, деградации при вытаптывании туристами, лесным пожарам. Восстанавливаются такие почвы очень долго.

Воздействию низового беглого пожара был подвержен верхний серогумусовый горизонт. Неравномерное воздействие огня привело к увеличению неоднородности в мощностях горизонтов. Верхний слой лесной подстилки и мохового очеса (обнаруженный в контрольной почве) полностью сгорел на послепожарных участках, что привело к значительному снижению мощности серогумусового горизонта. Верхняя часть почв постпирогенной сукцессии представлена поверхностными гумусовыми горизонтами, сохраняющими следы пирогенного воздействия. Наличие углистых частиц визуальнo диагностируется на границе органогенного и альфегумусового горизонтов. В нижней части профиля почвы имеют типичное для подбуров строение. После пожаров наблюдается изменение гидрологического режима в сторону увлажнения серогумусовых горизонтов. Важнейшие деградационные явления после пожаров связаны с потерей гумуса, нарушением водного режима, включая заболачивание.



Контур гари низового пожара

Лесные пожары в настоящее время признаются одним из самых значительных факторов, определяющих активную миграцию химических элементов на земной поверхности. Среди пирогенных выбросов высокая роль принадлежит различным органическим и неорганическим соединениям, химическим элементам, включая тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и радионуклиды, находившимся в почве, подстилке, коре и древесине деревьев. Поэтому в дальнейшем в рамках настоящего исследования также будет изучено влияние пожара на содержание тяжелых металлов в почвах и оценена временная динамика изменения свойств после пожаров.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук № МК-4596.2022.1.4.

Работа посвящена 300-летию Санкт-Петербургского государственного университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашик Е.В., Чубарова Ю.М., Ярмишко В.Т. Послепожарная динамика древостоев и подростa *Pinus Sylvestris* (Pinaceae) в условиях Ладожских шхер // Растительные ресурсы. 2015. Т. 51, № 3. С. 384–396.
2. Волков А.Д., Шелехов А.М. Биогеоэкологическая структура лесов различных типов ландшафта подзоны средней тайги: Петрозаводск. Структура и динамика лесных ландшафтов Карелии. 1985.

ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕРОГУМУСОВЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Шахматова Е.Ю.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, ekashakhmat@mail.ru

Лесные экосистемы в Западном Забайкалье подвержены активному влиянию низовых пожаров. По возгораемости лидируют сосновые леса. По типу возгорания и характеру горения наибольшую долю составляют низовые пожары, при которых большую нагрузку от их воздействия претерпевают нижние ярусы растительности, подрост, живой напочвенный покров и почвы. Увеличение их числа и площади в последние годы связаны с усилением аридизации климата и антропогенным воздействием. В связи с активным влиянием пожаров на экосистемы, последствия их воздействия на почвенный покров различны и определяются интенсивностью огня [1, 3, 4, 6].

Цель работы состояла в выявлении изменений, связанных с послепожарной трансформацией свойств и состава серогумусовых почв.

Природные условия территории характеризуются горно-котловинным рельефом и сезонным промерзанием почв. Среднегодовые температуры воздуха составляют $-4.2 \dots -5.0$ °С. Среднегодовое количество осадков около 250 мм в год. Весна и начало лета в районе исследований отличаются незначительными осадками и сильными ветрами и, соответственно, высокой сухостью воздуха и почвы [7]. Это является важной причиной возникновения и распространения пожаров.

Исследования проводились в Западном Забайкалье, в редкотравных сосновых (*Pinus silvestris* L.) лесах, произрастающих в нижнем течении реки Хилок (в районе впадения в Селенгу). Для исследования послепожарных изменений почв были заложены 3 пробных площади на гарях, образованных низовыми пожарами средней интенсивности в разные годы. Первая пробная площадь представлена старовозрастной гарью, расположенной в злаково-астроголовом сосняке. Этот участок леса пройден пожаром более 10 лет назад. Вторая пробная площадь представлена постпирогенным редкотравным сосняком, пройденным низовым пожаром средней интенсивности год назад. Третья пробная площадь расположена в сосняке злаково-редкотравном, пройденном низовым пожаром 5 лет назад.

Давность пожаров на пробных площадях определяли согласно «Книгам учета лесных пожаров» и отчетам агентства лесного хозяйства Республики Бурятия. Интенсивность огня устанавливали согласно рекомендациям П.А. Цветкова [5]. В почвах после закладки разрезов проводили морфологический анализ строения профилей. Физические и химические свойства почв исследовали традиционными методами. Для диагностики почв применяли Классификацию почв России [2]. Исследования поверхности микроагрегатов выполнены субмикроморфологическим методом с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM 1000.

В почвенном покрове территории распространены серогумусовые почвы, подстилаемые элювиально-делювиальными щебнистыми супесчаными и легкосуглинистыми отложениями, обогащенные карбонатами кальция. Данные почвы исследованы на хорошо дренируемом склоне юго-западной экспозиции хр. Станичный.

Профиль почвы на старовозрастной гари состоит из лесной подстилки мощностью около 2 см, под которой залегает гумусо-аккумулятивный горизонт АУ серовато-бурого цвета мощностью до 19 см. Он характеризуется супесчаным гранулометрическим составом, непрочнокомковатой структурой. Далее следует переходный буровато-желтого цвета супесчаный горизонт, сменяемый оливково-желтым разнородным по гранулометрическому составу (от супесчаного до легкосуглинистого) горизонтом. На глубине 60–80 см залегает легкосуглинистый горизонт с включениями дисперсных карбонатов. Общая формула организации

профиля О–АУ–АС–С–Сса. В первый год после низового пожара средней интенсивности были отмечены низкая (не более 1 см) мощность подстилки Оріг, ее темное окрашивание и наличие крупных углей, количество которых снижалось на 5-летней гари. Недавнее воздействие огня привело к уплотнению пирогенного гумусо-аккумулятивного горизонта АУріг. Его цвет изменился до темно-серовато-коричневого из-за наличия мелкого древесного угля и углистой пыли. В нижележащем горизонте АУС на первой и второй пробных площадях не наблюдалось видимых различий в морфологии.

Исследуемые почвы характеризуются супесчаным гранулометрическим составом с преобладанием фракций мелкого песка и крупной пыли. Содержание илистой фракции невысокое (5–7 %). Выявлено увеличение ее содержания в срединных горизонтах почвы на молодой гари, по сравнению с аналогичным показателем в почве на старой гари, что связано с ее перемещением вниз по профилю и аккумуляцией в подгумусовом горизонте в первый послепожарный год. Установлено дальнейшее снижение этой фракции спустя 5 лет после пожара. Микроагрегатный состав характеризуется преобладанием фракций 0.25–0.05 мм и 0.05–0.01 мм, которые соответствуют фракциям мелкого песка и крупной пыли гранулометрического состава почв. В результате термического воздействия происходило ухудшение микроагрегированности почв.

В результате влияния низовых пожаров средней интенсивности выявлено ухудшение агрегированности и нарушение структуры почвы в первый послепожарный год. На гари 5-летнего возраста происходило улучшение структурного и агрегатного состояния почвы. Коэффициент структурности в гумусовом горизонте почвы на старовозрастной гари превышал показатель ее постпирогенных аналогов, и почва характеризовалась лучшей агрегированностью.

Постпирогенное изменение структурных свойств почв в первый послепожарный год подтверждалось трещиноватостью поверхности микроагрегатов, выявленное при исследовании их субмикростроения.

При исследовании химических свойств установлено послепожарное увеличение показателей актуальной реакции среды, гумуса, азота, обменных оснований, СО₂ карбонатов, подвижных форм фосфора и калия в верхних горизонтах профилей в первый год и их постепенное изменение на 5-летней, близкое к значениям на старовозрастной гари.

Таким образом, серогумусовые почвы характеризуются трансформацией их состава и свойств после воздействия низового пожара средней интенсивности. Выявленные изменения почв отражают их состояние, как сразу после воздействия пожара, так и впервые 5 лет, что имеет большое значение для оценки влияния пожаров на экологическое состояние почвенного покрова в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокименко М. Д. Факторы горимости байкальских лесов // География и природные ресурсы. 2011. № 3. С. 51–57.
2. Классификация и диагностика почв России / отв. ред. Г.В. Добровольский. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Сидоров А.А., Санжиева С.Е. Хронология лесных пожаров в Республике Бурятия // Вестник Красноярского госуд. аграрного ун-та. 2018. № 4. С. 204–208.
4. Украинцев А.В., Плюснин А.М. Лесные пожары в Заиграевском районе Республики Бурятия в 2010–2012 годах: причины возгорания и ущерб // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 60–65.
5. Цветков П.А. Нагар как диагностический признак // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23, № 3. С. 132–137.
6. Шахматова Е.Ю., Сымпилова Д.П. Постпирогенная дифференциация свойств Ареносолой в сосновых лесах Западного Забайкалья // География и природные ресурсы. 2021. № 1. С. 65–72.
7. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.

PECULIARITIES OF THE RADIAL DISTRIBUTION OF LEAD IN SOILS OF DIFFERENT TYPES OF FOREST BIOGEOCENOSES UNDER THEIR AEROTECHNOGENIC CONTAMINATION WITH LEAD-CONTAINING WASTE

Mikhalchuk N.V., Kachanovich P.V., Azhgirevich A.N., Dashkevich M.M.

State Scientific Establishment "The Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", Brest, tyres810@gmail.com

The radial distribution of lead (Pb) in the soils of two types of forest biogeocenoses was studied: the sorrel spruce forest bgc1, and the herb-moan birch forest bgc2, located 35–50 m from the place of storage of lead ash. The pollution occurred in 2015–2018. Samples were taken in layers of 2 cm; the Pb content was determined by atomic absorption spectroscopy.

In 2019, the Pb concentration in the lower layer of the spruce forest litter was 4.9 times higher than in the 2 cm upper layer A1 of the soil itself (286.5 mg/kg versus 58.24 mg/kg), in 2020 – 5.6 times, and in 2021 – only 1.3 times (158.88 mg/kg versus 118.68 mg/kg). Consequently, the protectability of well-developed litters of bgc1 was especially clearly manifested in the first 2 years.

In 2021, in comparison with 2020, the Pb content in the upper soil horizon A1(t) of spruce forests increased by 4.1–5.0 times, which means that Pb migration along the profile is activated with active self-cleaning of the litter itself (a decrease in the Pb content in the upper layer by 8.3 times – from 731.37 mg/kg to 87.96 mg/kg). At the same time, Pb migration to deeper soil layers was observed: in 2019, the local geochemical background of the element was recorded from a depth of about 6 cm, in 2020, from 10–11 cm, and in 2021, in a layer of 15–16 cm.

In birch forests, the maximum Pb content was also noted in the litter: in 2019 – 263.04 mg/kg, but their protective properties were lower than in spruce forests: by 2020, in the upper 2 cm A1 layer of birch soils, Pb was 2.7 times more than in spruce forests (76.37 mg/kg vs. 28.75 mg/kg). At the same time, the Pb concentration in the underlying layer of 2–4 cm of soils in bgc2 was 3.2 times lower than in bgc1. In the next layer 4–6 cm, the Pb content was only 1.2 times higher than the local geochemical background.

Therefore, despite the weak development of the litter of birch forests, the vertical migration of Pb in their soils proceeds less intensively than in the soils of spruce forests. Probably, the determining factor in the intensity of Pb migration along the soil profile of the studied bgc is the reaction of the soil environment, which is significantly lower in spruce forests.

СЕКЦИЯ

ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ И ОЦЕНКА ПОЧВ

ЛЕСНЫЕ ЗЕМЛИ В СТРУКТУРЕ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА БЕЛАРУСИ

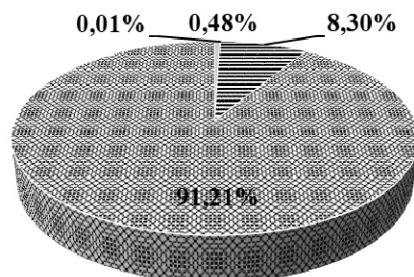
Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В.

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, tanik63@mail.ru

Лесные земли, как компонент природной среды, выполняют средоформирующие и природоохранные функции в биосфере, выступают как главное средство производства и пространственным базисом для размещения отраслей лесохозяйственного комплекса, объектом земельных отношений. Сохранение лесных земель (включая почвы) и их рациональное использование являются одним из приоритетных направлений политики устойчивого развития и обеспечения экологической безопасности государства.

Согласно данным Реестра земельных ресурсов [1] по состоянию на 1.01.2022 г. общая площадь лесных земель составляет 8935,0 тыс. га и превышает площадь сельскохозяйственных земель – 8176,2 га. В последние десятилетия в Беларуси наметилась тенденция сокращения площади сельскохозяйственных земель и увеличения площади, занятой лесными землями и землями под древесно-кустарниковой растительностью. С учетом площади земель под древесно-кустарниковой растительностью (991,4 тыс. га), удельный вес лесных и лесопокрываемых земель в республике возрастает до 47,8 %. И, если, в 1995 году площадь лесных и лесопокрываемых земель составляла 8277,5 тыс. га то уже к 2022 г. она возрасла до 9926,4 тыс. га (на 1648,9 тыс. га).

Распределение лесных земель по категориям землепользований представлено на рис. 1, из которого следует 91,2 % лесных земель находятся в пользовании организаций, ведущих лесное хозяйство.



- Организации Вооруженных Сил Республики Беларусь, воинских частей, военных учебных заведений и других войск и воинских формирований Республики Беларусь
- Организации связи, энергетики, строительства, торговли, образования, здравоохранения и иные землепользователи
- Организации природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения
- Организации, ведущие лесное хозяйство

Рис. 1. Распределение лесных земель по категориям землепользователей, %

Перераспределение земель внутри лесного фонда происходит за счет искусственного лесовосстановления и лесоразведения; уменьшение площади лесных земель за счет антропогенного воздействия (рубки, гибели лесных насаждений по вине человека), естественного сокращения площади за счет влияния природных факторов (гибели лесных насаждений от повреждения вредными насекомыми, дикими животными, болезней лесов, воздействия неблагоприятных погодных условий, лесных пожаров не по вине человека [2].

Облесённость территории отражается через показатель лесистости. Динамика лесистости изменяется под влиянием природно-антропогенных факторов. Так, с 1965 по 2022 г. показатель лесистости в республике вырос с 32,5 % до 43,0 % (рис. 2).

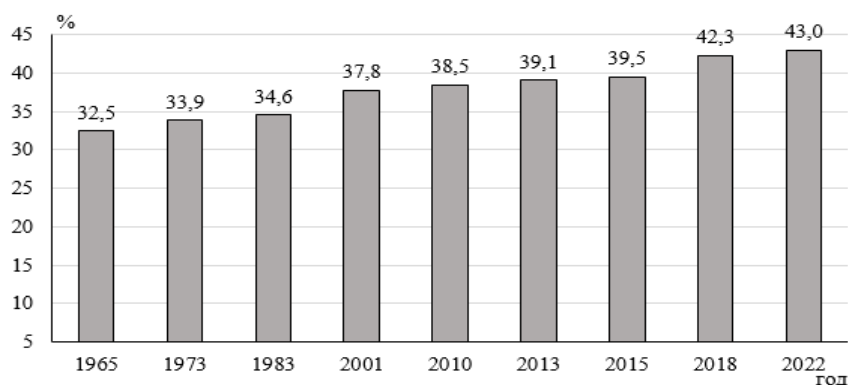


Рис. 2. Динамика лесистости территории Беларуси

Величина лесистости различается по областям и административным районам республики (табл.) в зависимости от геоморфологических, почвенно-климатических условий, антропогенных воздействий (распашка, радиоактивное загрязнение и т. д.).

Наиболее лесистой в республике является Гомельская область – 51,8 %, а среди административных районов – Наровлянский район этой области, где показатель лесистости достигает 78,6 %. Наименьший показатель лесистости характерен для Гродненской области – 37,7 % и Несвижского района Минской области – 12,6 %.

Распределение областей и административных районов Беларуси по показателю лесистости, %

Области		Диапазоны изменений по административным районам (min-max)	
Брестская	38,6	Жабинковский – 21,2	Ганцевичский – 59,9
Витебская	43,6	Шарковщинский – 27,1	Россонский – 74,0
Гомельская	51,8	Буда-Кошелевский – 26,8	Наровлянский – 78,6
Гродненская	37,7	Берестовицкий – 16,8	Островецкий – 52,6
Минская	41,8	Несвижский – 12,6	Борисовский – 58,1
Могилевская	41,7	Мстиславский – 17,9	Осиповичский – 61,9
Республика Беларусь	43,0	Несвижский – 12,6	Наровлянский – 78,6

На каждого жителя Беларуси приходится 0,97 га покрытых лесом земель и по этому показателю Беларусь входит в десятку лесных государств Европы. Средний запас лесных насаждений составляет 209,1 м³ на 1 гектар [2].

Разнообразные лесорастительные условия (типовая принадлежность, степень увлажнения почв, генезис, строение почвообразующих пород), обуславливают формирование различных по породному составу и продуктивности лесных насаждений. Породный состав лесов Беларуси типичен для европейских равнин зоны умеренного климата: сосняки составляют 50,3 % от общей площади лесов, березняки – 20,8 %, ельники – 10,0 %, ольшаники – 5,0 %, осинники – 5,0 %, дубравы – 3,3 %, насаждения с доминированием остальных пород (ясеня, граба, ивы, клена и др.) – 3,6 % [4]. Возрастная структура лесов неравномерная, а средний возраст лесных насаждений – 57 лет [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1.01.2022 г.). Минск, 2022. 57 с. / Земельные отношения // <http://gki.gov.by>.
2. <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/4b9/dmssl2zfw1erss19m0ylj64cbstcwjyu.pdf>.
3. <https://www.belta.by/infographica/view/lesa-belarusi-32650>.
4. <https://byles.by/poleznaya-informaciya/lesnye-resursy-belarusi.html>.

ПОЧВЫ ЕРАВНИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Алтаев А.А.¹, Билтуев А.С.¹, Хутакова С.В.²

¹ Бурятский НИИСХ, Улан-Удэ, altaev@mail.ru

² Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, svetlana-x1@mail.ru

На южной границе криолитозоны Забайкалья, в связи с глобальными изменениями климата, наблюдаются значительные трансформации почвенного климата. В условиях аномально высоких температур воздуха, усиления аридности и континентальности климата территории с многолетней и сезонной мерзлотой будут деградировать [1]. Лесонасаждения, тяготеющие к мерзлотным почвам, при их деградации также будут ослабевать и гибнуть, и, наоборот, исчезновение лиственничной тайги, вследствие сплошных широкомасштабных вырубок, пожаров, стихийных бедствий, изменения климата и пр., может привести к ухудшению свойств мерзлотных почв. Леса Еравнинского лесничества Западного Забайкалья (Республика Бурятия) представлены в основном лиственничными насаждениями и произрастают на мерзлотных почвах Еравнинской котловины Витимского плоскогорья. Эти почвы в Забайкалье формируются на элювиально-делювиальных образованиях легкосуглинистого гранулометрического состава и характеризуются следующими свойствами: интенсивным разложением растительных остатков, образованием маломощной подстилки, отсутствием или слабо выраженным элювиированием продуктов почвообразования, заметной биологической аккумуляцией ряда биогенных элементов, нейтральной или слабокислой реакцией среды, выраженным гумусонакоплением, гуматно-фульватным типом гумуса с преобладанием в его составе гуминовых и фульвокислот II и III фракций. Анализ данных по соотношению и распределению оксидов железа свидетельствует о их биогеохимической аккумуляции и стабилизации, отсутствии элювиальной миграции и агрегации, что связано с большей криоаридностью климата. Эти почвы имеют следующее морфологическое строение: АО-АI-B(AIВm)–ВmС(ВmСк)-С (отсутствие горизонта АО часто связано с лесными пожарами) [2]. Бурые лесные мерзлотные почвы в Забайкалье формируются на склоновых отложениях различного геолого-морфологического состава. Гранулометрический состав почв суглинисто-супесчаный. Наиболее отличительными свойствами этих почв являются: легко- и среднесуглинистый состав в верхней и нижней частях профиля; средне- и тяжелосуглинистый в средней части, кислая реакция среды, обусловленная преимущественно обменным АI, слабая химическая дифференциация профиля по распределению основных оксидов, ненасыщенность основаниями, гуматно-фульватный состав гумуса с преобладанием ульминовых кислот и резко профильное убывание с глубиной. По группам и формам оксидов железа наиболее диагностично для типового и подтипового выделения соотношение окристаллизованных групп соединений [2].

Выбранный нами типичный однородный участок леса с лиственничным насаждением имеет выраженные древесный ярус, подрост, подлесок и живой напочвенный покров. Состав древостоя: 10Л+Б (чистый лиственничник с примесью березы), подлесок – рододендровый (РД), средний по густоте, со злаково-разнотравной примесью (табл.).

Средние таксационные показатели насаждений исследуемого участка

Целевое назначение лесов	Преобладающая порода	Состав насаждений	Возраст насаждений	Бонитет насаждений	Полнота древостоев	Средний запас древесины (куб. м/га)			
						молodняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные
Эксплуатационные	Хв/Л	10Л+Б	100	IV	0,4	75	0	90	93

В пределах одного лесотаксационного выдела исследуемых лиственничных насаждений нами были заложены и описаны 2 почвенных разреза, с расстоянием между ними 100 м. Заложенный нами разрез 1 показал, что изученная почва вписывается в статистическо-вариационный ряд по морфогенетическим признакам присущим дерновым таежным мерзлотным почвам (рис. 1). Мощность гумусового горизонта составила 0–17 см. Верхний грубогумусовый (перегнойный) горизонт имеет мощность 6 см, бесструктурный, пронизан корнями деревьев, кустарников и живого напочвенного покрова. Переход к нижележащему горизонту постепенный. Весь профиль не вскипает от соляной кислоты. Состояние почвенного разреза мерзлое с тонкими пластинками льда.



- A0 $\frac{0-6}{6}$ см Лесная подстилка бурого цвета, состоит из слабооторфованного лесного опада
- A1 $\frac{6-17}{11}$ см Темно-серый, комковато-зернистой структуры, рыхлый, состоит из зерен минералов, отдельных обломков пород разделенных сетью извилистых пор, легкий суглинок
- Bm $\frac{17-38}{21}$ см Рыжевато-коричневый, обломки пород, растительных остатков мало, уплотнен, слабогумусирован
- BmC $\frac{38-58}{20}$ см Светло-желтый, плотный, встречаются белесые пятна, выветренность минералов слабая, обломки пород

Рис. 1. Описание почвенного разреза дерновой таежной мерзлотной почвы

На участке со 2-м разрезом нами обнаружена бурая лесная мерзлотная почва (рис. 2).



- Ov $\frac{0-5}{5}$ см Лесная подстилка бурого цвета, состоит из слабооторфованного лесного опада. Пронизан корнями
- A0 $\frac{5-14}{9}$ см Грубогумусовый горизонт. Сильно пронизан корнями
- ABm $\frac{14-23}{9}$ см Переходный гумусово- метаморфический горизонт с непрочной мелкокомковатой структурой мощностью
- Bd $\frac{23-45}{22}$ см Бесструктурный переувлажненный горизонт буро-серого с коричневатостью цвета с высоким содержанием грубодисперсного органического вещества и растительного детрита

Рис. 2. Описание почвенного разреза бурой лесной мерзлотной почвы

Почва маломощная мерзлотная, каменистая, верхний горизонт состоит из перегнившего опада – слабогумусированного бесструктурного, пронизанного корнями растений. Весь профиль не вскипает от соляной кислоты. Состояние почв мерзлое с частичками льда в виде тонких пластинок.

Таким образом, в одном лесотаксационном выделе могут формироваться разные типы мерзлотных почв, на которых произрастают высокобонитетные лиственничные насаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бадмаев Н.Б.* Глобальное изменение климата и его отклик на почвенный покров южной границы криолитозоны Забайкалья / Н.Б. Бадмаев, Б.З. Цыдыпов, Е.Ж. Гармаев // Экологические проблемы бассейна озера Байкал: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием: электронное издание, Улан-Удэ, 28 августа – 01 сентября 2022 года. Улан-Удэ: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. С. 12–16. DOI: 10.31554/978-5-7925-0621-3-2022-12-16.

2. *Цыбжитов Ц.Х.* Почвы бассейна озера Байкал. Том 3. Генезис, география и классификация таежных почв / Ц.Х. Цыбжитов, А.Ц. Цыбжитов. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2000. 173 с.

РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮЖНОГО ХАМАР-ДАБАНА

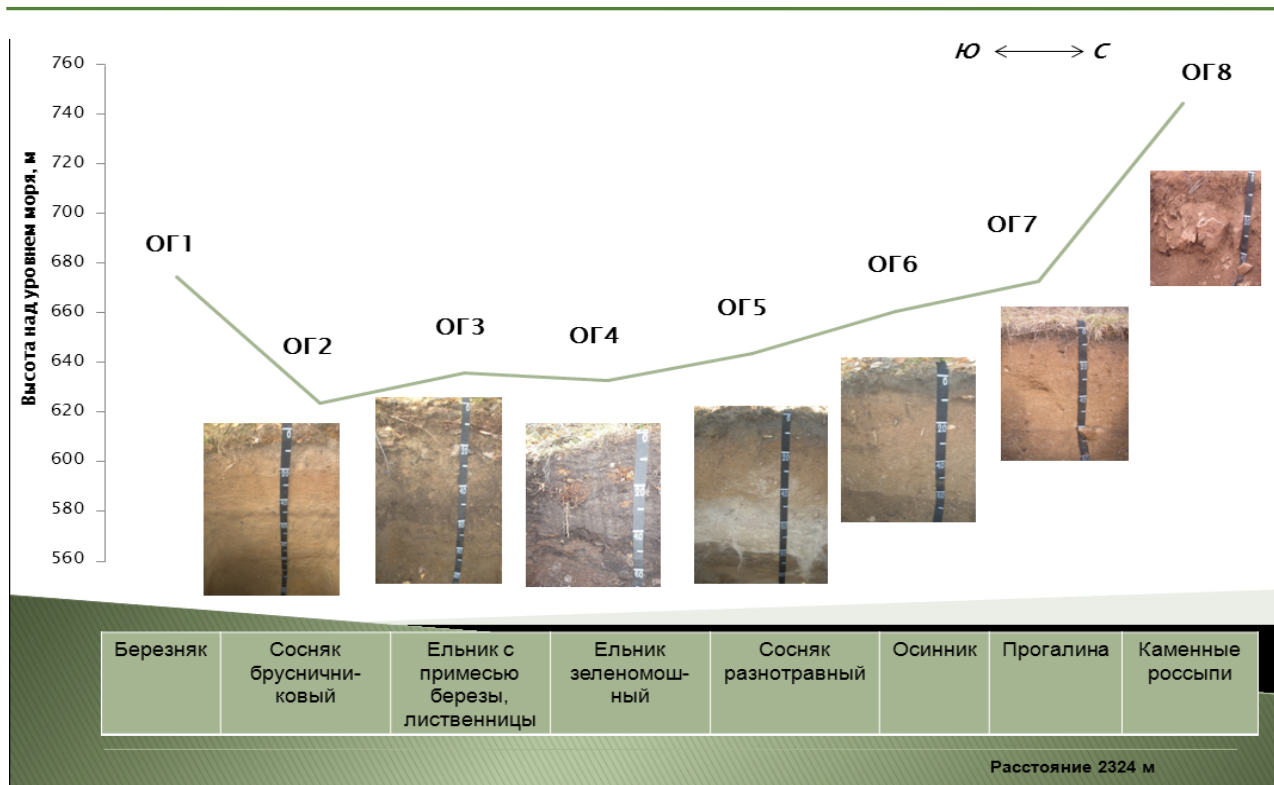
Алтаев А.А.¹, Хутакова С.В.²

¹ Бурятский НИИСХ, Улан-Удэ, altaev@mail.ru

² Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, svetlana-x1@mail.ru

Хребет Хамар-Дабан относится к горам Южной Сибири, входит в Саяно-Байкальское становое нагорье, с повышенной тектонической активностью, резкими орографическими контрастами и широким распространением ледниковой морфоструктуры. Он расположен южнее озера Байкал в широтном направлении на протяжении более 250 км и дугообразно окаймляет южный и юго-восточный берега озера [1]. Специфичность почвообразования в Забайкалье, обусловленное географическими, климатическими, орографическими особенностями выражается в своеобразии и сложности вертикально-поясного распределения почв в регионе, что отмечалось в работах экспедиций Переселенческого управления, Почвенного института им. В.В. Докучаева и Института общей и экспериментальной биологии. Несмотря на имеющиеся материалы, степень изученности почв лесов обширной территории Западного Забайкалья недостаточна и высоко актуальна в настоящее время. До сих пор дискуссионными остаются многие вопросы систематики и морфогенетической диагностики различных типов почв Западного Забайкалья, формирующихся в своеобразных экологических условиях, которое очень сильно отличаются от европейской части страны, а также их пространственное соотношение [2, 3]. Установлено, что основные площади лесов хр. Хамар-Дабан формируются на почвах постлитогенного ствола почвообразования (подбуры, дерново-подбуры, литоземы), для них характерны более благоприятные показатели плодородия и отсутствие признаков оподзоливания. На водораздельной части хребта формируются почвы первичного ствола, характеризующиеся неполноразвитым слабо дифференцированным профилем, наличием слабо гумусированного горизонта W. Синлитогенный ствол представлен аллювиальными почвами, которые формируются в пойме рек и отличаются неблагоприятным гидрологическим режимом [4].

На склонах (северо-восточном и юго-западном) южного отрога хр. Хамар-Дабан и долины ручья Черемуховой, впадающего в реку Оронгой – левый приток реки Селенга, в Иволгинском лесничестве Республики Бурятия, в южной подзоне сибирской тайги, был заложен постоянный исследовательский трансект (ПИТ «Черемуховая падь») (рис.).



Разнообразие почв ПИТ «Черемуховая падь»

На пробных площадках ПИТ (координаты пересечения трансекта с р. Черемуховой – 51°36,000' с.ш.; 106°42,453' в.д.) исследованы основные таксационные показатели древостоя, проведен учет деревьев методом круглых реласкопических площадок, заложены и описаны 8 почвенных разрезов. Результаты изысканий сведены в таблицу.

Таксационные показатели древостоя, сформировавшегося на разных почвах ПИТ

Разрез	ОГ1	ОГ2	ОГ3	ОГ4	ОГ5	ОГ6	ОГ7	ОГ8
Почва	Серые лесные	Аллювиально-дерновые	Аллювиально-дерновые	Аллювиальные перегнойно-глеевые	Дерново-подзолистые	Подбуры	Подбуры	Петрозем (первичная слабо-развитая)
Тип леса	Березняк	Сосняк брусничниковый	Ельник с примесью березы и лиственницы	Ельник зелено-мошный	Сосняк разнотравный	Осинник	Прогалина	Каменные россыпи
Состав древостоя	7Б3Лц	6С2Лц2Б	4Е4Лц1С1Б	7Е2Лц1Б	10С	8Ос2С	–	–
Запас насаждений, м ³	103,05	189,68	183,93	149,42	73,64	70,13	–	–
Сумма площадей сечений, м ² / га	9,0	16,5	16,0	12,5	6,0	5,8	–	–
Относительная полнота	0,25	0,45	0,43	0,34	0,16	0,15	–	–
Класс бонитета	IV	II	III	III	II	IV	–	–

Проведенные исследования подтверждают данные, что на сравнительно небольшой лесной площади в Забайкалье (2324 м ленточной трансекты) могут формироваться различные типы почв с разнообразным древостоем. Такая пестрота и мозаичность почвенного

покрова зависит, прежде всего, от рельефа (экспозиции и крутизны склонов), разных условий увлажнения лесных экотонов (гидрологического режима), а также от непосредственного влияния биологического фактора почвообразования (накопления опада, лесной подстилки, отмерших травянистых растений и пр.). Так, в нашем случае, на южных склонах с высокой солнечной инсоляцией, на открытых местах и под осинником формируются подбуры и ниже по склону, под сосняком – дерново-подзолистые почвы, а на северных, более увлажненных, склонах – серые лесные, где произрастают, березовые насаждения. На водораздельной части хр. Хамар-Дабан формируются слаборазвитые почвы (петрозем) с гумусово-слаборазвитым слоем (W) первичного почвообразования со степенью проективного покрытия 60 %. Непосредственно в долине р. Черемуховый формируются аллювиальные почвы, с выраженными глеевыми процессами непосредственно на берегу водотока.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Флоренсов Н.А., Олюнин В.Н.* Рельеф и геологическое строение // Предбайкалье и Забайкалье. М.: Наука, 1965. С. 23–90.
2. *Убугунова В.И.* Закономерности вертикально-поясного распределения почв центральной части хр. Хамар-Дабан / В.И. Убугунова, Ц.Х. Цыбжитов // Почвоведение. 1987. № 12. С. 14–24.
3. *Андреева М.Н.* Почвы сосновых лесов Западного Забайкалья (география, морфогенетическое строение и лесорастительные свойства): специальность 03.02.13 «Почвоведение»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Андреева Марина Николаевна. Улан-Удэ, 2010. 142 с.
4. *Хутакова С.В.* Почвы лесных ландшафтов бассейна р. Оронгой / С.В. Хутакова, А.А. Алтаев / Инновационное развитие АПК Байкальского региона: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня образования Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. Улан-Удэ, 2021. С. 70–74.

СТОКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ ЛЕСНЫХ ПОЛОС В СТЕПНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Гаевая Э.А., Тарадин С.А.

*ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр», п. Рассвет,
emmaksay@inbox.ru*

Значимость лесных полезащитных насаждений заключается в защите почвы от эрозии, улучшении водного, температурного режима, создании благоприятного микроклимата для возделывания сельскохозяйственных культур. Поля, защищённые лесными полосами, аккумулируют атмосферные осадки, которые теряются в виде стока талых и дождевых вод стекающих с соседних полевых участков и уменьшают испарение влаги, снижают скорость ветра при возникновении пыльных бурь. Когда говорят о защитной роли леса, то в первую очередь имеется в виду его способность превращать поверхностный сток в глубинный, который идёт на пополнение грунтовых вод. Интенсивность этого процесса зависит от рельефа, толщины подстилки, состава насаждения и т. д. В Ростовской области используются 4-х и 6-ти рядные защитные лесные полосы. Высаживают в большинстве случаев Робинию ложноакациевую (*Robinia pseudoacacia*). Конструкция лесных полос, как правило, ажурная, но встречаются и занят нижний ярус кустарниковой растительностью. Поэтому значение стокорегулирующих лесных полос нельзя не до оценивать, как элемент обустройства сельскохозяйственных агроландшафтов, имеющих как экологическую, так и продовольственную составляющую.

Лесными массивами по всей России занято более 50 % территории. Площадь земель в административных границах Ростовской области в 2005 году составляла 10096,7 тыс. га. Из этих земель 331,1 тыс. га (3,3 %) составляли земли лесного фонда, а под древесно-кустарниковой растительностью, было занято 281,6 тыс. га (2,8 %). В Южном федеральном округе общая площадь земель составляет 44782,1 тыс. га, из них земли лесного фонда 4297,5 тыс. га (9,6 %) и 1501,3 тыс. га (3,4 %) площадь древесно-кустарниковой растительности. К 2021 году в Ростовской области площадь земель лесного фонда увеличились на 4,1 %, а площади земель занятых древесно-кустарниковой растительностью практически не изменилась (0,3 %). В Южном федеральном округе напротив площадь земель лесного фонда сократилась на 30,2 %, а земли под древесно-кустарниковой растительностью почти в два раза [2].

Влияние защитных лесных насаждений в условиях степной зоны Ростовской области трудно переоценить. Потеря гумуса и питательных веществ, а также ухудшение агрофизических свойств пашни по мере усиления процесса эрозии – основная причина снижения урожайности культур на эродированных и смытых почвах, ухудшается структура, повышается плотность, уменьшается порозность, водопроницаемость и влагоемкость почвы. Исследованиями в Ростовской области по защите почв от эрозии установлена эффективность следующего комплекса приемов и мероприятий: полосное размещение сельскохозяйственных культур + ползащитные лесные полосы, включающие элементы простейших гидротехнических сооружений – валов канав. Стокорегулирующие лесные полосы положительно влияют на свойства чернозема обыкновенного: увеличивается мощность гумусового горизонта, опускается горизонт карбонатов и улучшается структура почвы. Снежный покров, накапливающийся в течение зимы на поверхности почвы, создает запас влаги. Весной при таянии снега образуется много влаги, являющейся источником для питания растений. В период весеннего снеготаяния наблюдаются и основные потери атмосферных осадков в результате эрозионных процессов, которые связаны со многими причинами, в том числе и со степенью промерзания почвы. В период снеготаяния запас воды в снеге составляет 225,4–338,7 т/га и основная задача стокорегулирующих лесных полос перевести поверхностный сток во внутрипочвенный, служащих запасом влаги для будущего урожая.

Другое, важное значение лесных полос – это положительное воздействие на физические свойства почвы. Накопившийся листовой опад, имеющий высоту 7–9 см, является исходным материалом для образования гумуса. Как известно под лесными насаждениями гумуса накапливается больше, чем на пахотных землях. За счёт увеличения гумусированности почва приобретает повышенную противоэрозионную стойкость в результате усиления механической и водной прочности агрегатов. На старопахотных землях систематическая механическая обработка почвы приводит к количественному уменьшению фракции агрегатов размером >10 мм более чем в два раза. Содержание глыбистых агрегатов колебалось в пределах от 20,9 до 21,5 %, а за тридцать лет землепользования уменьшилось до 7,1–8,3 %. Одновременно наблюдается увеличение доли пылеватой фракции (< 0,25 мм) с 9,1 % до 20,0 % [1].

Тогда как почва под лесными полосами более оструктурена. Наибольшее количество агрегатов (38,4 %) при просеивании на воздухе размером 1–3 мм отмечается в слое почвы 0–30 см. При этом содержание пылевидной фракции незначительное (3,5 %). По мере увеличения горизонта с 0–10 см до 20–30 см почва становится более оструктуренной и количество фракции размером >10 мм увеличивается с 5,8 % до 10,8 %, а количество фракций размером 7–10 мм и 5–7 мм уменьшается с 7,2–10,7 % до 6,1–7,6 %.

Стокорегулирующая роль лесных полос заключается в предотвращении стока и смыва почвы. В среднем смыв почвы с пахотных земель составляет 5,8 т/га, при этом размах колебаний от 2,5 до 13,1 т/га [1].

Лесные полосы способны задержать смытую почву. Просеивание на воздухе кольматационных наносов показало, что содержание крупноглыбистых фракций размером > 10 мм –

2–3 мм незначительное (0,2–7,0 %). Наибольшее количество мезо- и микроагрегатов размером 1–2 мм – 0,25–0,5 мм отмечалось в наносах (23,1 %; 17,1 %; 30,2 %), а пылевидная фракция < 0,25 мм составляла 17,2 %.

Аналогичная закономерность распределения агрегатов в наносах наблюдалась и при просеивании в воде. С уменьшением размеров агрегатов увеличивается их процентное содержание. Наибольшее количество водопрочных агрегатов от 15,4 % до 31,8 % было во фракциях от 2–3 мм до < 0,25 мм. Столь значительный сдвиг в сторону мелких фракций объясняется тем, что смываемая почва с пахотных земель плохо оструктурена и легко размывается в потоках воды, имея низкую противозерозивную устойчивость.

Для предотвращения процессов деградации на приводораздельных склонах необходимо использовать контурную организацию территории с размещением линейных рубежей (лесных полос и др.) по горизонталям местности под углом 75–90° к направлению стока. Для увеличения стокорегулирующей роли, особенно на ложбинных склонах крутизной 3–8° целесообразно лесные полосы усиливать простейшими гидротехническими сооружениями – валами-канавами.

Таким образом, переход на систему контурно-мелиоративного земледелия с использованием контурно-полостного размещения культур и стокорегулирующих лесных полос усиленных валами канавами, позволяет сохранять ландшафты, предотвращать эрозию почв и загрязнение водоемов, улучшать водный режим почв и микроклимат территории. Продуктивность угодий при этом возрастает в 1,5–2 раза и более.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаевая Э.А., Безуглова О.С., Нежинская Е.Н. Агрофизические свойства чернозема обыкновенного слабоэродированного в длительном опыте в Ростовской области // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1399–1414.
2. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2005 году / редкол.: М.В. Мишустин, В.С. Кислов, В.А. Самоллетов, И.В. Шевченко и др. М.: Роснедвижимость, 2006. 200 с.

ОЦЕНКА КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Данилова Н.И.¹, Сапожников П.М.²

¹ Русское общество оценщиков, Россия, Москва, nadya01091998@mail.ru

² МГУ имени М.В. Ломоносова, Sap-petr@yandex.ru

Свыше 20 лет в России развивается институт кадастровой оценки. Кадастровая оценка является массовой и имеет государственный статус, что придаёт ей особую значимость, приоритет, а заодно и возлагает большую ответственность на организаторов и исполнителей работ. Характеристики качества почв являются источником информации для вычисления кадастровой стоимости земель. Базой для этих данных служат материалы крупномасштабных почвенных исследований, проведенных во всех субъектах нашей страны в середине 90-х годов прошлого века. Почвы, находящиеся в различных агроклиматических условиях, в различных элементах ландшафта, будут дифференцированы по кадастровой стоимости, и изучение характера такой дифференциации является весьма актуальной задачей, имеющей экономическую значимость.

Республика Карелия расположена на северо-западе Восточно-Европейской равнины, в восточной части Балтийского щита. Карелия представляет собой холмистую равнину со множеством озерных котловин, моренных гряд, на территории области также встречаются озы и камы. Климат на территории республики меняется от морского к умеренно-континентальному. Агроклиматический потенциал варьирует от 3,7 до 5,9 [6]. Область расположена

в таежной зоне. Основными почвообразующими породами являются моренные пески, супеси и суглинки, песчано-галечные наносы флювиогляциального происхождения, пески и глины озерного происхождения.

Наибольшие значения удельных показателей кадастровой стоимости (УПКС) земель Республики Карелия (4,8–4,9 руб./м²) оказались у аллювиальных дерновых кислых почв, а также у дерново-подзолистых почв с содержанием гумуса 4 %, а наименьшие (0,8 руб./м²) – у торфяных болотных верховых почв, а также у дерново-подзолистых осушенных почв с низким содержанием гумуса с проявлением слабого поверхностного и профильного оглеения (табл.). Для осушенных аллювиальных дерновых кислых почв Карелии с различной степенью гидроморфизма УПКС не изменяется [2].

Удельные показатели земель Республики Карелия

Почвы Республики Карелия	УПКС, руб./м ²
Торфяные болотные верховые	0,8
Дерново-подзолистые на легких породах	3,5
Подзолистые (с содержанием гумуса 4 %)	4,8
Дерново-подзолистые глубоко-глееватые на тяжелых породах	4,8
Дерново-подзолистые (осушенные, с проявлением слабого поверхностного и профильного оглеения)	1,0
Аллювиальные дерновые кислые	4,9

На величину УПКС оказывает влияние почвообразующая породы почвы. Это рассмотрено на примере дерново-подзолистой почвы. УПКС почвы на суглинках и глинах в 1,4 раза выше УПКС почвы на легких суглинках песчаных (4,8 руб./м² и 3,5 руб./м² соответственно).

Медианное значение УПКС земель Республики Карелия составляет 3,3 руб./м² (рис.). Для сравнения, самое высокое медианное значение УПКС в Северо-Западном Федеральном округе (СЗФО) получено для земель Калининградской области (6,5 руб./м²), где почвы обладают лучшими свойствами в сравнении с остальными субъектами, АП имеет максимальное в СЗФО значение, вследствие чего для нормативной урожайности и УПКС характерны более высокие значения, а наименьшее – для земель Архангельской области (0,3 руб./м²) [5].

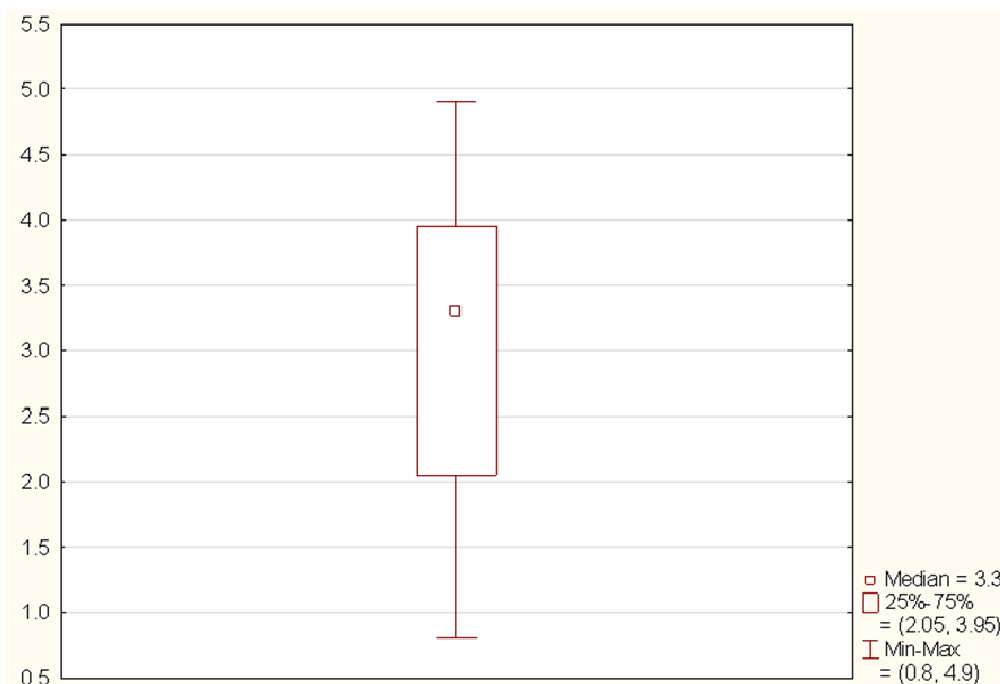


Диаграмма размаха УПКС почв Республики Карелия

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации / Под ред. П.М. Сапожникова, С.И. Носова. М., 2012. 157 с.
2. Данилова Н.И., Сапожников П.М. Сравнительная характеристика кадастровой стоимости почв земель сельскохозяйственного назначения Ленинградской области и Республики Карелия. Сборник «Биологический круговорот питательных веществ при использовании удобрений и биоресурсов в системах земледелия различной интенсификации». Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр»; ПресСто Суздаль-Иваново, 2021. С. 138–141.
3. Методические указания о государственной кадастровой оценке. Утверждены Приказом Росреестра от 7 августа 2021 г. № П/0336. М. 149 с.
4. Сапожников П.М., Шехтер К.П., Данилова Н.И. Дифференциация кадастровой стоимости земель в агроландшафтах гумидных, аридных и полуаридных территорий Российской Федерации // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение, 2023. № 2. С. 46–55.
5. Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации. Учеб. практическое пособие // Под ред. С.И. Носова. М., 2010. 200 с.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСОПОЛОС НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Добрянская С.Л.

Новосибирский ГАУ, Новосибирск, slb85@bk.ru

Как известно, лесополосы играют большую агроэкологическую, природоохранную, средообразующую роль. В почве под многолетними лесополосами формируются условия, отличающиеся от условий современного агроландшафта. Посадка лесополос приводит к возникновению нового лесоаграрного ландшафта со своей структурой, динамикой круговорота веществ, воздействием на компоненты окружающей среды. Систему защитных лесных насаждений также можно рассматривать как средство защиты полей от неблагоприятных условий, что является важным фактором ослабления процесса деградации и восстановления исходного потенциала агроэкосистем [4]. Актуальность проблемы обусловлена тем, что активное земледелие требует оценки свойств чернозёмов, с целью своевременного выявления в них негативных изменений и предупреждения нежелательных процессов.

Цель исследований – оценить трансформацию физических свойств чернозёма выщелоченного под влиянием лесополос.

Объект исследования – чернозём выщелоченный среднегумусный среднемощный среднесуглинистый иловато-крупнопылеватый, расположенный в лесостепной дренированной зоне Западно-Сибирской провинции Приобском районе выщелоченных чернозёмом. Лесополосы состоят из двух рядов, главная порода – клён татарский (*Acer tataricum*). Все примененные методы отвечают современным требованиям и являются тем необходимым минимумом для решения поставленной задачи [1].

В процессе детального описания морфологических свойств чернозёма выщелоченного, наибольшие различия сравниваемых профилей наблюдались в верхней части. Данный факт свидетельствует о том, что гумусовые горизонты чернозёмов отражают в своих особенностях не только историю их развития, но и специфику современного почвообразования. При изучении морфологического строения исследуемых чернозёмов в полевых условиях, отмечено, что пахотный слой вследствие длительной сельскохозяйственной нагрузки дезагрегируется, значительно уплотняется, а после снеготаяния весной заплывает. Такая ситуация приводит к тому, что пахотный слой утрачивает важную агропроизводственную способность – высокую

водопроницаемость [2]. Для нижней части горизонта А характерно заметное уплотнение и худшая агрегированность. В подпахотном горизонте процесс дезагрегации сопровождается увеличением комковатости, огрублением структуры и появлением более четко выраженных граней структурных отдельностей, что, по-видимому, обусловлено влиянием тяжелой сельскохозяйственной техники. Хорошая микроагрегированность чернозёмов в условиях лесополосы подтверждается тем, что основная масса микроагрегатов представлена крупными фракциями. Такая особенность физического состояния чернозёмов обусловлена сравнительно высоким содержанием в верхних горизонтах гумуса [3].

Анализ проведенных исследований показал (табл.), что при вовлечении чернозёмов в сельскохозяйственное использование прослеживается высокий уровень структурной деградации почвы. Можно отметить огрубление структуры пахотного горизонта. В соответствии с ростом глыбистости наблюдается уменьшение количества агрономически ценных агрегатов и коэффициента структурности, что сопровождается формированием в засушливый период практически постоянной системы трещин. Следствием снижения структурности почв является формирование бесформенных глыб, которые сильно ухудшают водно-воздушный режим чернозёмов, что приводит к ухудшению качества обработки и образованию корки после выпадения осадков. В условиях пашни содержание глыбистой фракции в пахотном слое возросло на 14 % в сравнении с лесополосой, в то время как содержание агрегатов 1–3 мм уменьшилось в 1,5 раза.

Агрегатный состав чернозёма выщелоченного

Варианты	Глубина образца, см	Размер агрегатов, мм								
		Содержание фракций, % от массы воздушно-сухой почвы								
		> 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
Лесополоса	0–20	25,0	10,9	8,7	6,9	11,84	21,14	2,64	6,3	6,5
	20–40	30,87	8,81	9,94	19,4	9,88	13,38	1,82	3,7	2,2
Пашня	0–20	45,81	7,88	7,34	7,91	4,31	9,67	3,8	6,9	5,8
	20–40	33,84	9,46	6,7	7,44	18,06	20,3	1,26	1,6	0,8

Более достоверные выводы о структурном состоянии позволяют сделать данные о содержании водопрочных агрегатов. В условиях лесополосы чернозём имеет более водопрочные почвенные агрегаты. Под влиянием длительного сельскохозяйственного использования комковато-зернистые агрегаты трансформируются в глыбистые отдельности, агрегаты мелкого размера (0,5–0,25 мм), а содержание неводопрочных агрегатов возрастает до 83 %. Результаты мокрого просеивания показывают, что в условиях лесополосы количество водоустойчивых агрегатов в пахотном слое составило 40 %, тогда как в условиях пашни всего 25 %. Ухудшение структурного состояния приводит к уменьшению водопоглотительной способности, снижению количества доступной растениям влаги, уменьшению слоя активного влагооборота.

Результаты исследований показали, что для древесных насаждений характерно некоторое уплотнение почвы, однако плотность почвы под деревьями является характерной для данных почв и оптимальной для большинства растений (1,21–1,34 г/см³).

Таким образом, результаты исследований важно учитывать при разработке концепции воспроизводства потенциального плодородия чернозёмных почв на агроэкологической основе в условиях антропогенного влияния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Добрянская С.Л. Сравнительная оценка свойств чернозёма выщелоченного Новосибирского Приобья // Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры почвоведения Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина и 80-летию члена-корреспондента РАН Кудеярова Валерия Николаевича. 2019. С. 174–177.

3. Добрянская С.Л. Комплексная оценка изменения содержания гумуса в агрочернозёме Новосибирского Приобья // Сборник III национальной (Всероссийской) научной конференции с международным участием «Теория и практика современной аграрной науки» / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. С. 78–80.

4. Ишутин Я.Н. Лесополосы в Кулундинской степи. Барнаул, 2005. 159 с.

ЗАСОЛЕННОСТЬ ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Махкамова Д.Ю.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (НУУз)

Почвенный покров Юго-восточной части Голодной степи представлен, в основном, в различной степени засоленными, гипсоносными, местами сероземно-луговыми почвами и солончаками, площадь которых составляет более 80 тыс. га. В этом регионе под орошение вовлекались разнообразные, в том числе малопродуктивные засоленные гипсированные почвы самых различных геоморфологических условий, требующие применения специальных методов и технологий освоения, обеспечивающих прежде всего, их коренную мелиорацию. Она не отвечала их природным генетическим, почвенно-экологическим условиям и, соответственно, не обеспечивала воспроизводство плодородия почв, повышение продуктивности и эффективность их использования. Гипсоносные почвы относятся к категории трудномелиорируемых почв со специфическим генезисом, водно-физическими, химическими и биологическими свойствами, обусловленные геоморфологическим строением покровной толщи, гидрогеологическими и другими условиями районов их распространения. В результате многолетних территориальных и стационарных наблюдений на характерных опытно-производственных участках накоплен обширный материал, касающийся условий формирования гипсоносных почв, количественных показателей, характеризующих свойства гипсоносных почв [1, 2, 3].

Сероземы территории опорного землепользования пункта, с поверхности до глубины 100–150 см не засолены (разр. 3), но в отдельных более глубоких горизонтах фиксируется слабое, местами среднее засоление. Почвы склонов в нижней шлейфовой части начиная с поверхности земли засолены в различной степени и гипсоносны, а почвы дна саев характеризуются довольно сильным засолением и высокой гипсоносностью (разр. 29^а, 39, 99).

По глубине верхнего солевого горизонта рассматриваемые почвы представлены высоко солончаковатыми и солончаковатыми разностями с содержанием легкорастворимых солей 1,400–2,605 %, отдельные горизонты засолены до степени солончаков (разр. 29^а). Содержание хлора незначительное 0,003–0,056, в сильнозасоленных горизонтах достигает 0,203–0,262 %. Тип (химизм) засоления в преобладающем большинстве случаев сульфатный, встречаются и хлоридно-сульфатные типы засоления. Содержание SO₄ гипса в перерасчете на CaSO₄ · 2H₂O колеблется от 10–17 до 37–41 % и почвы шлейфовой части склонов относятся, соответственно, к средне- и сильнозасоленным. Произведенный по выборочным разрезам расчет запаса солей верхнего метрового слоя почвы по плотному остатку, Cl⁻, SO₄²⁻ показывает, что количество их колеблется в очень широких пределах от 15,2 т/га на склонах, до 271,0–337,6 т/га в нижней шлейфовой части, из них хлора – 0,44–22,8 и сульфатов – 6,6–177,6 т/га, соответственно.

В качественном составе солей преобладали CaSO₄, а затем NaSO₄. Количество MgSO₄ незначительное (0,050–0,228 %), количество MgCl₂ колеблется в широких пределах от 0,004 до 0,221 %. Сумма токсичных солей составляет 44–54 % от общей суммы легкорастворимых солей. Сероземная почва, расположенная на высокой водораздельной части

(плакоре) Ломакинского плато (р.-3) легкого и среднесуглинистого состава. Содержание физической глины ($< 0,01$) 32–36 % в верхнем метровом слое, во втором метровом слое – 21–27 %. В естественном состоянии почва является плодородной, чему способствовало развитие злаково-разнотравной растительности на покровных лессовых почвах. В верхнем 0–30 см слое накопилось значительное количество гумуса 0,8–1,2 %. Глубже содержание гумуса постепенно убывает до 0,2–0,3 %. На части водораздельного плато, использованного в богарном земледелии, содержание гумуса в почве ниже уже в поверхностных слоях. Следует отметить, что по мере увеличения степени засоления и количества токсичных солей количество гумуса уменьшается. Содержание гумуса в почве значительно ниже, чем в выше описанных (от 1,1 в гумусовом горизонте до 0,35 % и менее на глубине 1 м).

Содержание общего азота, которое зависит от содержания гумуса также повышенное и в гумусовом горизонте достигает местами 0,064–0,269 % снижаясь в верхнем метровом слое до 0,1 % и менее. На пологом склоне плакора, где расположены лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы, которые характеризуется разрезами 29 и 99 верхний лессовый покровный слой в разной степени смыт эрозионным врезом. Механический состав почв от супесчаного до легкосуглинистого (частицы $< 0,01$ только в верхнем гумусовом горизонте, составляя от 9–21 %, глубже их содержание меньше). Содержание гумуса в почвах на пологом склоне в верхних горизонтах также остается относительно повышенным – 0,034–0,344 %, постепенно снижаясь в средних и нижних по профилю частях. Луговая почва, занимающая дно лога (р. 39) характеризуется низким содержанием частиц $< 0,01$ (5,3–12,0 %). В основном, механический состав почвы супесчаный.

В почве лога количество азота низкое по всему профилю – от 0,1 до 0,01. Соотношение углерода к азоту повышенное в верхних слоях $C : N = 7,9–10,2$, сужается вниз по профилю.

Что касается содержания в рассматриваемых почвах подвижных форм фосфора и обменного калия, то в сероземной почве до 40,5 мг/кг P_2O_5 в дерновом горизонте (т. е. на уровне средней обеспеченности). Глубже по всему профилю оно в пределах 5–10 мг/кг, что свидетельствует об очень низкой обеспеченности почв подвижными формами фосфора, что связано слабо выщелоченной рН, карбонатностью почв. В лугово-сероземной и сероземно-луговой почвах содержание и распределение по профилю подвижных форм фосфора и обменного калия аналогично выше описанной сероземной почве и т. е. «низкое» и «очень низкое» за исключением поверхностного 0–30 см слоя (р. 99), где содержание подвижного калия на уровне «средней» обеспеченности. В луговом солончаке лога (р. 39) подвижного фосфора мало, а содержание подвижного калия в верхней по профилю части почвы за исключением 0–17 см достаточно высокое на уровне «средней» обеспеченности (200–240 мг/кг). Содержание валового фосфора и калия выше в верхних горизонтах почв, что объясняется биогенной их аккумуляцией.

Таким образом, для данных почв характерным является низкая обеспеченность подвижными формами фосфора и калия, что обусловлено региональными особенностями аридного почвообразования, а также их засоленностью и гипсированностью почв. Из выше сказанного следует, что полученные результаты показывают, что агрохимические свойства различаются в типичном сероземе, лугово-сероземной, сероземно-луговых, луговых почвах и солончаках региона. Характерно малое содержание гумуса и элементов питания, их неравномерное распределение по профилю исследованных почв. Неблагоприятные почвенно-климатические особенности региона, особенно в увязке с изменением климата, способствуют накоплению солей в почвах, местами с поверхности. В связи с чем, значения агрохимических показателей у почв в исследуемой территории меньше, чем в аналогичных полугидроморфных и гидроморфных почвах других регионов республики, хотя гумусовый профиль их также несколько растянут.

Засоление и гипсированность отрицательно влияют на свойства почв, что ведет к понижению плодородия. С увеличением степени засоления и количества токсичных солей, содержания гумуса, валовых N, P, K и их подвижных форм снижается, что ведет к дальнейшей дегумификации и ухудшению показателей элементов плодородия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gafurova L.A., Madrimov R.M., Razakov A.M., Nabiyeva G.M., Makhkamova D.Yu., Matkarimov T.R.* Evolution, Transformation And Biological Activity Of Degraded Soils. International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 28, no. 14, (2019). PP. 88–99.
2. *Makhkamova D., Gafurova L., Nabieva G., Makhhammadiev S., Kasimov U., Julie M.* Integral indicators of the ecological and biological state of soils in Jizzakh steppe, Uzbekistan. Sustainable management of Earth resources and Biodiversity IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science 1068 (2022) 012019 IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/1068/1/012019.
3. *Makhkamova D.* Mechanical composition of gypsumvirginland and irrigated soils Zarbdardistrict of Jizzakhregion. The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering, Volume 2 Issue 10, 2020. P. 12–16.

МИКРОЭЛЕМЕНТНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ БРЕСТСКОГО РАЙОНА

Позняк С.С.

*Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз
Республики Беларусь, Минск, sspazniak@gmail.com*

Брестский район расположен на юго-западе Республики Беларусь и имеет большую протяженность с севера на юг (около 100 км), на западе района по реке Западный Буг проходит государственная граница с Польшей, на юге – с Украиной. Северная и центральная часть района расположены в пределах Подляско-Брестской впадины с глубиной залегания кристаллического фундамента более 1 км, южная часть расположена в пределах Волынского-Азовской плиты, где глубина залегания кристаллического фундамента колеблется от 0,25 до 1 км. Среди дочетвертичных отложений преобладают отложения меловой (пески, мел, алевролиты) в южной части и неогеновой системы (пески, алевролиты, глины) – в северной [1].

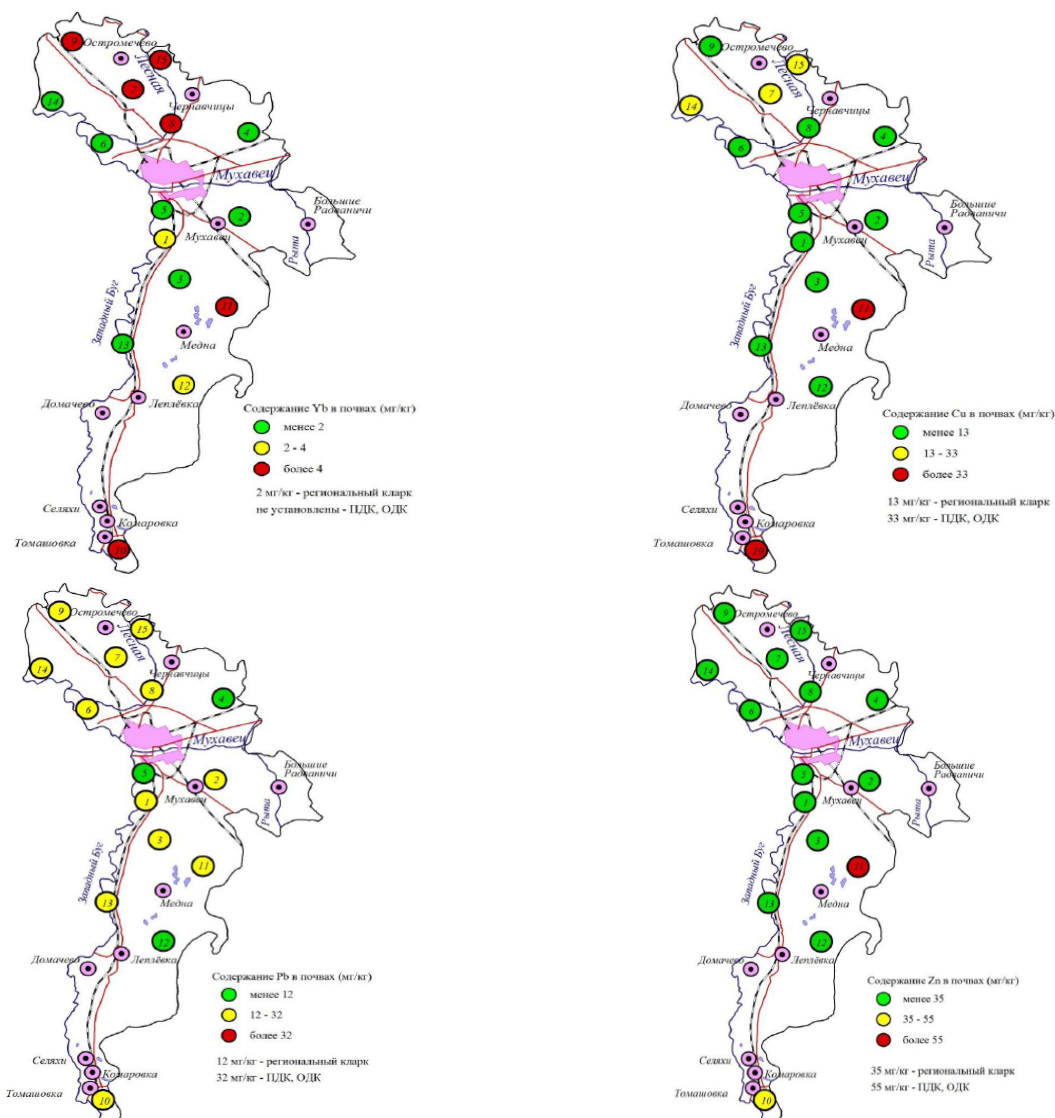
Основными типами почв в центральной и южной частях района являются дерново-подзолитые слабоподзоленные почвы на мощных песках в сочетании с различными типами дерново-подзолистых заболоченных почв. В северной части района крупными массивами располагаются дерново-подзолитые слабоподзоленные почвы на водно-ледниковых и моренных супесях, подстилаемых моренными суглинками. В долине реки Западный Буг доминируют аллювиальные торфянисто-глеевые и торфяно-болотные почвы [2].

Под лесами Брестского района находится около 35 % территории. Крупнейшие лесные массивы – Тельминский, Мухавецкий, Белоозеровский. Сосновые леса занимают 72,8 %, черноольховые – 10,6, березовые – 10,4 и дубовые – 3,7 %.

В современных условиях в эпоху бурного развития промышленного и сельскохозяйственного производства остро возникла необходимость в мониторинге экологического состояния лесных экосистем, поскольку они подвергаются масштабному антропогенному воздействию, в том числе в результате трансграничного переноса загрязнителей. Соседство с индустриально развитыми странами, пространственно-географическое расположение Республики Беларусь, а также преимущественно восточное направление воздушных потоков обусловили резкое преобладание в составе атмосферных выпадений на территорию республики трансграничной составляющей. По оценкам ЕМЕП, доля трансграничной серы в выпадениях на территорию Беларуси составила 86 %, окисленного азота – 93, восстановленного азота – 59, бензо(а)пирена – 68 %. Около 70 % антропогенного свинца, 80 % кадмия и ртути также имеют внешнее происхождение, причем основной вклад принадлежит странам-соседям: Польше, Германии, Украине [3].

Целью наших исследований являлось – изучить микроэлементную обеспеченность почв естественных экосистем лесных массивов Брестского района Республики Беларусь в условиях

интенсификации производства. Для решения этой задачи на территории района было заложено 15 постоянных пробных площадей в лесных массивах. Во время вегетационного периода в течение трех лет проводился отбор почвенных проб в соответствии с существующими методическими рекомендациями. Размер пробной площадки 100 м^2 . На каждой пробной площадке отбиралась одна объединенная проба, которая формировалась путем смешивания равных частей не менее 10 точечных проб. Отбор проб производился пробоотборником из 3 слоев: верхнего – 0–20 см, среднего – 20–35 см и нижнего слоя – 35–50 см. Отобранные почвенные образцы высушивались до воздушно-сухого состояния, растирались в агатовой ступке и просеивались через сито 0,5 мм. Подготовленные пробы почвы исследовались на базе аккредитованной лаборатории РУП «Белгеология» г. Минска методом полуколичественного эмиссионного спектрального анализа на приборе LAC-89-2. В почвенных пробах определялось валовое содержание химических элементов: ванадий, иттербий, иттрий, кобальт, марганец, медь, никель, ниобий, олово, свинец, титан, хром, цинк, цирконий. С использованием полученных количественных данных с помощью графической программы ArcView построены ГИС-карты, наглядно отражающие содержание указанных химических элементов в почвах лесных массивов с различной степенью антропогенной нагрузки (рис.): на карте зеленым цветом выделены содержания элементов до фонового значения, желтым цветом обозначены концентрации элементов в количестве от фонового до ПДК (ОДК), красных цветом – количества выше ПДК (ОДК).



Содержание химических элементов в почвах лесных массивов (мг/кг)

Результаты исследований изданы в виде «Атласа содержания тяжелых металлов в почвах Брестского района», используются специалистами природоохранного и агропромышленного комплекса в практической деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белова Т.В. Регионы Беларуси: энциклопедия: в 7 т. / редкол.: Т.В. Белова [и др.]. Минск: Беларус. энцыкл. Т. 1: Брестская область : в 2 кн. 2009.
2. Кузнецов Г.И. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : практ. пособие / Г.И. Кузнецов [и др.]; под. ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смеяна. Минск: Оргстрой, 2001. 432 с.
3. Бусько Е.Г., Позняк С.С. Оценка трансграничного переноса техногенных поллютантов // Экологический вестник России. 2011, № 10. С. 66–69.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ

Толстогузов О.В.

Институт экономики КарНЦ РАН, Петрозаводск, olvito@mail.ru

В сообщении речь идет о монетизации услуг природы, обсуждаются проблемы и трудности, с которыми встречаются эксперты при решении вопроса, как привязать ценник к экосистемным услугам. Это связано с отсутствием консенсуса между исследователями как по используемым методам, связывающим цены с экосистемными услугами, так и, по существу, экономического подхода к экосистемным услугам и игнорированием сущности социальной системы, особенно в контексте устойчивого развития. Новая инвестиционная ESG-реальность предлагает рассматривать подходы к монетизации экосистемного сервиса и в аспекте окружающей среды (E), и в социальном (S) и управленческом аспектах (G), то есть, в контексте устойчивого развития общества, включая трансформацию структуры социальных отношений и институциональную реакцию общества.

В дискуссии по поводу монетизации экосистемного сервиса чаще всего отталкиваются исключительно от свойств почвенной системы. При этом представляют ее сложность, динамичность, иерархированность, правильно ориентируясь в ее тонкой системной настройке. Однако затем саму монетизацию представляют как простой процесс превращения вещи в деньги, как механистический подход с комбинированием систем счета, причем учитывают только производственную часть транзакции.

Однако в экономическом смысле монетизация вещи – это измерение трансформации вещи деньгами в процессе транзакции как действию или акта сложной социальной системы. Имеет значение, как на каждом шаге транзакции регулируются и распределяются права собственности, управленческие команды; как учитываются характер сделок, оппортунизм (до- и послеконтрактный) участников, способы обеспечения контрактов исковой силой и в целом институциональной структуры фирмы и рынка. В реальных условиях поимо производственной части транзакции появляются долговые, ценовые и пр. контракты, а также такие элементы транзакции как транзакционные издержки. Они, по сути, представляют собой издержки эксплуатации социальной системы и являются важным критерием в настройке социальной системы. То есть монетизация природного капитала (экосистемных услуг почв и т. д.) зависит не только от свойств экосистемы, но и во многом от тонкой настройки социальной системы.

Поэтому, исходя из вышеизложенного, подошли к монетизации экосистемных услуг именно как к управленческой задаче в системе ESG-требований, как к выбору стратегии

реагирования агентов на изменение ситуации с учетом углеродного следа, типа землепользования и т. д. Тогда монетизацию как управленческую задачу можно рассматривать в контексте постановки задачи исследования операций (ИО), как оптимизацию целевой функции «приращения ценности». При этом критерием эффективности землепользования становится не быстрая ликвидность, измеренная «фиатными» деньгами, а оцененная обществом полезность, поддерживаемая социальными брендами (создающими в обществе задаваемый и узнаваемый контекст смыслов) и соответствующими институтами, обеспечивающими легитимность коммерческих брендов.

По объявленным основаниям выявляется следующая типология монетизации экосистемных услуг (как постановка задачи ИО):

- прямая детерминированная задача с настройкой экосистемы (управление распределением ресурсов при заданных сценариях режима землепользования и микроэкономическом равновесии стационарного агента); учитывается только производственная часть транзакции при нулевых транзакционных издержках и микроэкономическом равновесии агента и составляется смета отдельной технологической цепочки с применением производственных показателей, которые рассчитываются для конкретного процесса с учетом трансформационных издержек и показателей, основанных на денежных потоках: чистый денежный поток; чистая текущая стоимость и т. д.;
- прямая стохастическая задача с тонкой настройкой экосистемы (управление запасами при заданных сценариях режима землепользования и макроэкономическом равновесии стационарной организационной системы на платформе механического рационализма); учитывается производственная и долговая части транзакции, а также экологический ущерб в системе национальных счетов, что позволяет вводить общую для всех, одинаковую (не дифференцированную по объектам, будь то промышленное предприятие или карбоновая ферма) региональную карбоновую квоту или налог; приняты эндогенность денежной массы и долговые деньги, не связанные ни с производством ценности (полезности), ни с оборотом активов (деньги – биржевой товар).
- обратная задача (управление конфликтом в контексте устойчивого развития с дополняющими сценариями институциональной реакции общества при локальном равновесии динамичной социальной системы). Требуется одновременно тонкая настройка и почвенной системы, и социальной системы, причем согласованная и сопряженная настройка систем. С этой целью используются имитационные модели и аппарат теории игр. Наряду с максимизацией эффективности коммерческого бренда, в критерии эффективности управленческих решений включаются минимизация транзакционных издержек, максимизация экономической ренты, получаемой территорией, и полезности, оцененной обществом, выраженной в социальных брендах, сопряженных с экосистемными функциями. Здесь действуют проектные контракты, охватывающие все элементы транзакции. Выполнение контрактных обязательств обеспечено государством (государственными институтами развития, национальными проектами, международными конвенциями и оптимальным дизайном рыночных (и социальных) регуляторов, изменяющего настройку социальной системы). Здесь деньги – это средство соизмерения и выполнения контрактных обязательств в соответствии с новой инвестиционной реальностью и «углеродным» ценообразованием.

ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ИНДИГИРСКО-КОЛЫМСКОЙ ПРОВИНЦИИ СЕВЕРО-ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Трофимов И.А.^{1,2}, Трофимова Л.С.¹, Яковлева Е.П.¹

¹ ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса, Лобня, viktrofi@mail.ru

² Тамбовский государственный ун-т им. Г.Р. Державина, Институт естествознания, Тамбов

Актуальной проблемой являются региональная, ландшафтная и экологическая дифференциация земельных, природно-климатических ресурсов Дальнего Востока с целью создания высокопродуктивного, устойчивого и экологически чистого сельского хозяйства, адаптированного к условиям каждого конкретного региона [4, 6].

В сельском хозяйстве взаимодействие человека и природы осуществляется на больших площадях, и природные факторы оказывают огромное влияние на продуктивность, устойчивость экосистем и производство сельскохозяйственной продукции [1, 2, 5].

Разработано агроландшафтно-экологическое районирование Дальнего Востока для оценки потенциала, устойчивого сельскохозяйственного природопользования и защиты окружающей среды в регионе. По данным районирования дана характеристика пространственного распределения биологических и экологических закономерностей Индигирско-Колымской провинции Северо-таежной зоны Дальнего Востока. Провинция расположена в Республике Саха (Якутия), занимает 26625,0 тыс. га или 34,4 % площади равнинной части Северо-таежной зоны Дальнего Востока. Большая часть территории провинции (около 49 %) занята разреженными лиственничными и редкостойными лесами. Болота занимают 8,1 %, под водой – 6,6 %. Площадь оленьих пастбищ значительна – около 35 %. Природно-климатические и воспроизводимые природные кормовые ресурсы провинции являются перспективными для устойчивого развития животноводства на природной кормовой базе.

Объекты исследований – экосистемы и агроэкосистемы, в которых наибольшее внимание уделено роли кормовых экосистем, которые включают природные кормовые угодья (ПКУ), оленьи пастбища (ОП) и используются или потенциально пригодны для выпаса животных или скашивания на корм.

Разработанные нами методы исследований опираются на концепцию сохранения и воспроизводства используемых в сельскохозяйственном производстве земельных и других природных ресурсов, плодородия почв, продуктивного долголетия агроэкосистем и агроландшафтов (Всероссийского НИИ кормов имени В.Р. Вильямса); концепции экологического каркаса агроландшафтов и эколого-хозяйственного баланса (географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Института географии РАН).

В качестве контурной и информационной основы агроландшафтно-экологического районирования использованы материалы Почвенно-экологического районирования Российской Федерации факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова [3].

В качестве информационной основы использовались также Национальный атлас почв РФ, природно-сельскохозяйственное, ландшафтно-экологическое и почвенно-экологическое районирования территории, эколого-географические, геоботанические карты, данные государственного земельного учета, фондовые, наземные и дистанционные данные.

Характерными чертами Индигирско-Колымской провинции Северо-таежной зоны Дальнего Востока является наличие озерно-аллювиальных ландшафтов. Рельеф большей частью плоский и волнистый с многочисленными термокарстовыми озерами, иногда с аласами, местами заболоченный. Повсеместно встречаются небольшие по площади фрагменты плато увалистых, холмисто-увалистых, пологоволнистых, плоских. Поймы и низкие террасы плоские, заболоченные. Кроме множества озер в округе густая речная сеть – это бассейны Индигирки, Колымы, Алазеи.

Климат континентальный, относительно сухой и холодный. Средняя температура января составляет $-36,0$ °С, июля $+14,8$ °С. За год выпадает 200–250 мм осадков. Многолетняя мерзлота распространена повсеместно.

В почвенном покрове представлены полигонально-трещинные комплексы глееземов, торфянисто-перегнойных таежных почв, пятен и мерзлотных трещин суглинистых и часто сменяющегося гранулометрического состава с преобладанием песков и супесей с торфянисто-глеевыми и торфяными болотными почвами.

В растительном покрове оленьих пастбищ преобладают (40 % от общей площади ОП) лиственничные редколесья, закустаренные мохово-кустарничковым и мохово-кустарничково-травяным ерником, ольхой, ивняком и кедровником в комплексе с осоково-пушицевыми болотами (10 %).

Лиственничные редколесья расположены на тундровых глееватых торфянистых, торфянисто-перегнойных почвах и оподзоленных подбурях. Основные растения: лиственница, виды березы, ольха кустарниковая, виды ивы, кедровый стланик; вейник незамечаемый, осока кругловатая, осока прямостоячая, багульник прижатый, брусника, голубика, вороника; зеленые мхи, сфагнум узколистный. Сезон использования ОП – поздняя весна, лето, ранняя осень. Оленеёмкость – 3–5 голов/га.

Тундровые и лесотундровые осоково-пушицевые бугристые болота расположены на тундрово-мерзлотных, болотных торфянисто-глеевых почвах. Основные растения: осока блестящая, осока топяная, пушица узколистная, мытник судетский, паррия голостебельная, нарциссия холодная, багульник; кладония оленья, кладония звездчатая, цетрария исландская, цетрария кукушечья; зеленые и сфагновые мхи; ива ползучая. Сезон использования ОП – поздняя весна, ранняя осень. Оленеёмкость – 2–3 головы/га.

Редкостойные леса и редколесья расположены на подзолах иллювиально-железисто-гумусовых и иллювиально-гумусовых почвах. Основные растения: овсяница приземистая, овсяница красная, вороника, брусника, кассиопея четырехгранная, арктоус альпийский; виды политрихума, виды дикранума, стереокаулон голый; виды кладонии, виды цетрарии. Использование ОП возможно во все сезоны. Оленеёмкость летом – 7–10, зимой – 2–3 головы/га.

Установленные закономерности являются необходимой информационной основой для создания устойчивого регионально-, ландшафтно- и экологически дифференцированного сельского хозяйства, рационального природопользования и защиты окружающей среды в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аграрный сектор Дальнего Востока; проблемы и перспективы развития / под общ. ред. А.С. Шелепы. Хабаровск: ГНУ ДВНИИЭОП АПК Россельхозакадемии, 2013. 212 с.
2. *Асеева Т.А., Киселев Е.П., Сухомиров Г.И.* Сельское хозяйство Дальнего Востока: условия, проблемы и потенциал развития / Под ред. Н.Е. Антоновой; Институт экономических исследований ДВО РАН; Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства ХФИЦ ДВО РАН. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2020. 162 с.
3. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000 / Науч. ред.: Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. Авторы: Урусевская И.С., Алябина И.О., Винюкова В.П., Востокова Л.Б., Дорофеева Е.И., Шоба С.А., Щипихина Л.С. М.: Талка+, 2013. 16 л.
4. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / Под ред. А.Н. Каштанова. М.: Колос, 1983. 336 с.
5. *Романов М.Т., Степанько А.А.* Динамика территориальных структур сельского хозяйства Дальнего Востока России // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 1 (45). С. 133–143.
6. *Урусевская И.С., Алябина И.О., Шоба С.А.* Почвенно-географическое районирование как научное направление и основа рационального землепользования // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1020–1035.

ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЗАПАДНО-КАРЕЛЬСКОГО ОКРУГА СЕВЕРО-ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Трофимова Л.С., Яковлева Е.П.

*ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса, Лобня,
viktrofi@mail.ru*

Разработка и освоение научно обоснованных систем ведения сельского хозяйства должны в полной мере учитывать конкретные агроландшафтные, экологические и хозяйственные условия каждой природной зоны, провинции и округа, каждой административной области, района и хозяйства. Это позволит обеспечить максимальную согласованность и соответствие специализации и концентрации сельскохозяйственного производства, развития растениеводства и земледелия, кормопроизводства и животноводства с природными условиями и качеством земель, экологическим состоянием агроландшафтов и охраной окружающей среды [2].

С целью повышения адаптивности сельского хозяйства на основе агроландшафтно-экологического районирования по экономическим районам Российской Федерации, точной адресной экстраполяции технологий создания и использования пастбищ и сенокосов, рационального природопользования, оптимизации и охраны агроландшафтов разработано агроландшафтно-экологическое районирование Севера России для оценки потенциала, устойчивого сельскохозяйственного природопользования и защиты окружающей среды в регионе.

В качестве контурной и информационной основы агроландшафтно-экологического районирования использованы материалы Почвенно-экологического районирования Российской Федерации факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова [1].

В качестве информационной основы использовались также Национальный атлас почв РФ, природно-сельскохозяйственное, ландшафтно-экологическое и почвенно-экологическое районирования территории, эколого-географические, геоботанические карты, данные государственного земельного учета, фондовые, наземные и дистанционные данные.

В результате районирования изучаемая территория разделена по определенной системе на зоны, провинции, округа. Раскрыты закономерности распределения природных факторов сельскохозяйственного производства, их взаимодействие и проявление в определенных территориальных выделах, а также особенности экологического состояния агроландшафтов и использования земель. Агроландшафтно-экологическое районирование выполнено на основе комплексного природно-сельскохозяйственного, а также агроклиматического, ландшафтно-экологического и почвенно-экологического районирования с использованием современных эколого-географических и географических карт.

Предлагаемое районирование предназначено для разработки и освоения адаптивных систем ведения растениеводства, земледелия, оптимизации агроландшафтов, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

По данным районирования дана характеристика пространственного распределения биологических и экологических закономерностей Западно-Карельского округа Северо-таежной зоны России.

Для округа характерно распространение холмистых моренных с участками камов равнин. Западная граница округа проходит по возвышенности Манселькя, представляющей собой гряду холмов и низкогорий. Возвышенность находится в пределах Фенноскандии, в центральной части Балтийского щита, образуя водораздел между Балтийским, Белым и Баренцевым морями. Она представляет собой денудационно-тектоническую возвышенность, вытянутую дугой с северо-запада на юго-восток более чем на 750 км, шириной около 75 км и высотой до 718 м. Как продолжение этой возвышенности, перемещаясь в центр округа, тянется Западно-Карельская возвышенность.

Рельеф преобладает холмисто-увалистый с камами, озами, друмлинами. От центра к северу встречается плоский, пологоувалистый рельеф. В самой северной части – крупно-холмистые и холмисто-увалистые плато. Высотные отметки варьируют от 150 до 300 м над уровнем моря, максимальная – 576 м (г. Нуоруунен). В округе большое количество мелких озер и рек.

Почвы – подзолы альфегумусовые песчаные и супесчаные.

Леса занимают 56 % площади округа, болота – 19,5 %, под водой – 22,5 %, сельскохозяйственные угодья – 0,4 % общей площади округа.

Площади сельскохозяйственных угодий – пашни 3,8 тыс. га, сенокосов 7,6 тыс. га, пастбищ 3,8 тыс. га.

Среди природных сенокосов и пастбищ преобладают суходольные белоусовые, мелкозлаково-разнотравные по редколесьям на дерново-подзолистых, бурых лесных, подбурах светлых и темных, торфянисто-подзолисто-глеевых и других почвах северо-таежной зоны.

Основные растения: лиственничные, сосновые, еловые, кедровые, мелколиственные редколесья с покровом из мхов, лишайников, кустарничков в различных сочетаниях с участием травянистых растений. Урожайность – 5 ц/га сухого поедаемого корма плохого качества.

Много также заболоченных осоковых, разнотравно-злаково-осоковых болотистых лугов на торфяно-подзолисто-глеевых и иловато-перегнойно-глеевых почвах.

Основные растения: мятлик болотный, вейник ланцетный, вейник незамечаемый, вейник сероватый, двукосточник тростниковидный, манник большой, осока сероватая, осока острая, осока дернистая, окопник лекарственный, подмаренник топяной, вероника длиннолистная. Урожайность – 11–13 ц/га сена, или 5–10 ц/га сухого поедаемого корма плохого качества.

По плоским понижениям, слабым бессточным низинам на водоразделах наиболее распространены разнотравно-белоусовые, белоусовые и осоково-злаковые мелкотравные сырые луга натечного увлажнения на дерново-подзолистых глееватых почвах.

Основные растения: белоус торчащий, полевица собачья, вейник наземный, осока черная, осока просяная, осока заячья, ситник нитевидный, сивец луговой, лютик едкий, лютик ползучий. Урожайность – 6–8 ц/га сухого поедаемого корма плохого качества.

Нижние части склонов, низин и приозерные низины обеспеченного грунтового увлажнения также занимают и осоково-щучково-крупнотравные травостои на дерново-глеевых, торфянисто- и перегнойно-подзолисто-глеевых почвах.

Основные растения: вейник ланцетный, вейник незамечаемый, щучка дернистая, мятлик болотный, полевица побегообразующая, осока острая, осока черная, таволга вязолистная, гравилат речной, подмаренник топяной, ситник развесистый. Урожайность – 12–16 ц/га сена, или 8–13 ц/га сухого поедаемого корма ниже среднего качества.

Установленные закономерности необходимы для создания устойчивого регионально-, ландшафтно- и экологически дифференцированного сельского хозяйства, рационального природопользования и защиты окружающей среды в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000 / Науч. ред.: Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. Авторы: Урусевская И.С., Алябина И.О., Винюкова В.П., Востокова Л.Б., Дорофеева Е.И., Шоба С.А., Щипихина Л.С. / М.: Талка+, 2013. 16 л.
2. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / Под ред. А.Н. Каштанова. М.: Колос, 1983. 336 с.

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПОД ДРЕВОСТОЯМИ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА И ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ-МСХА ИМ. К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Янькова А.А., Старикова М.Ю.

*ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, институт агробиотехнологии, Москва,
anastasija.yankova@yandex.ru, Minimirara@gmail.com*

При изучении влияния древесных насаждений на строение, состав и свойства дерново-подзолистых почв ЛОД РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева было проведено обследование 4 пробных площадей: пробные площади О и К в VIII квартале, где древостой представлен чисто лиственным составом насаждений, III квартал пробная площадь Е и IV квартал пробная площадь Н с чисто хвойным составом насаждения. Название почвам было дано исходя из классификации 1977 года [1, 2, 3].

По полученным данным сухого просеивания, мы видим, что коэффициент структурности в почвах варьируется от 0,4 % (в нижнем горизонте В 8/К) до 8,7 % (рис. 1). Наилучшее, структурное состояние имеет дерново-подзолистая почва 8 квартала пробной площади К и О под чисто лиственным составом древостоя. Коэффициент структурности на пробной площади О улучшается в нижележащих горизонтах (горизонт В), что касается почвы 8 квартала пробной площади К, то коэффициент структурности, наоборот, выше в подзолистом горизонте и постепенно снижается вниз по профилю. В общем и целом, мы можем отчетливо видеть, что при сухом просеивании под чисто лиственными коэффициент структурности был лучше.

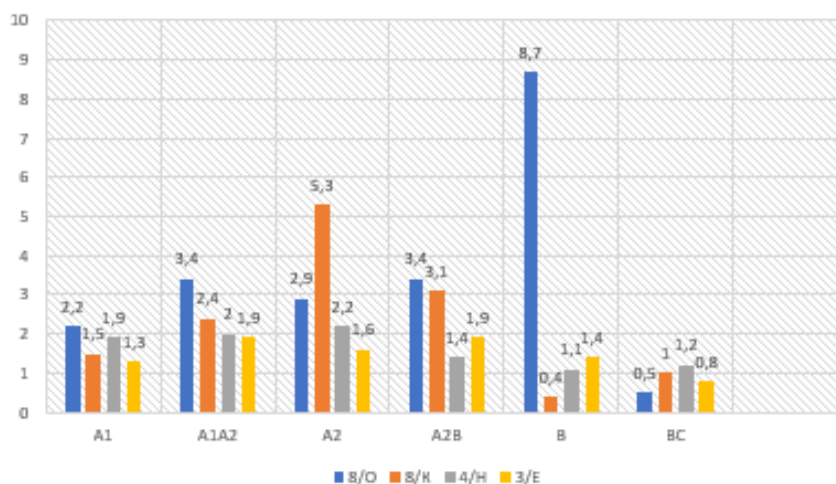


Рис. 1. Оценка структурного состояния почв по «сухому» методу

Изучая водоустойчивость структуры (рис. 2), можно увидеть, что процентное содержание суммы агрегатов > 0,25 мм получилось довольно равномерным, особенно это наблюдается в горизонте A2B. В гумусовых горизонтах наибольший процент 38,9 % пришелся на почву 8 квартала пробной площади О под чисто лиственным составом древостоя. В подзолистом горизонте А2 33,2 % и 34,5 % также наблюдаются в почвах под чисто лиственными насаждениями, а вот под чисто хвойным древостоем процентное значение здесь гораздо ниже по сравнению с другими горизонтами 17,9 % (4/Н) и 16,2 % (3/Е). В целом, водоустойчивость структуры в дерново-подзолистых почвах под чисто хвойным и лиственным древостоем оценивается как удовлетворительная.

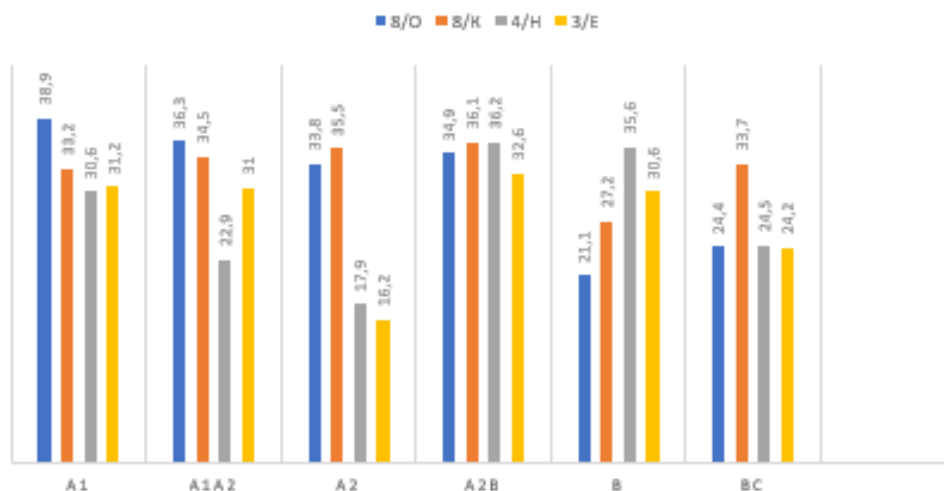


Рис. 2. Оценка структурного состояния почв по «мокрому» методу

По данным, полученным после определения гранулометрического состава исследуемых почв, можно сделать вывод, что под хвойными насаждениями изменяется гранулометрический состав вниз по профилю от легкосуглинистого до среднесуглинистого, а под лиственными от легкосуглинистого до супесчаного. Изменение гранулометрического состава верхних горизонтов почв от состава растительности не наблюдается. Однако нижние горизонты почв под хвойным древостоем имеют среднесуглинистый гранулометрический состав, а под лиственным супесчаный, что связано, по всей видимости, с отличиями гранулометрического состава почвообразующих пород. Хотелось бы отметить, что ведущим фактором, при оценке структурного состояния дерново-подзолистых почв является в большей степени гранулометрический состав, а не древостой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Н.Г., Савельев О.А., Поляков А.Н. А.Р. Варгас де Бедемар – основатель лесной опытной дачи Петровской земледельческой и лесной академии (ТСХА) // Известия ТСХА: выпуск 6. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 1991. С. 195–203.
2. Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Гидрологическая характеристика территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА: выпуск 2. М.: Изд.: РГАУ-МСХА, 2018. С. 5–17.
3. Наумов В.Д., Бардачева О.Г. Экологическая оценка состояния древостоя на территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА: выпуск 2. М.: Изд.: РГАУ-МСХА, 2008. С. 42–52.

СЕКЦИЯ

ПОЧВЫ В СИСТЕМЕ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ

НОВАЯ ОЦЕНКА БАЛАНСА УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСОВ РОССИИ

Замолодчиков Д.Г.¹, Честных О.В.^{1, 2}

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, dzamolod@cepl.rssi.ru

² МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, ochestn@mail.ru

В последние несколько лет вопросы оценки баланса углерода в лесах России стали предметом внимания не только научных, но и управленческих и бизнес-кругов. Это внимание сформировалось в связи с постановкой задач низкоуглеродного развития в рамках Парижского климатического соглашения. Официальные оценки баланса углерода в лесах России представлены в Национальном кадастре парниковых газов (НКПГ) [5]. Согласно рекомендациям Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [6], оценки баланса углерода в лесах формируются на основе учетных сведений по лесам с применением набора уравнений, параметры которых могут быть определены по имеющимся национальным научным данным. Авторы настоящей работы разработали систему региональная оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) [1, 2], ориентированная на использование данных Государственного лесного реестра (ГЛР) либо архивных материалов государственных учетов лесного фонда. С 2010 г. РОБУЛ используется в НКПГ для формирования отчетности по сектору лесного хозяйства [5 и более ранние]. В составе НКПГ РОБУЛ подвергается ежегодным проверкам экспертов РКИК ООН. Успешное прохождение этих проверок подтверждает соответствие системы подходам МГЭИК.

В полном виде совокупность уравнений и параметров РОБУЛ приведена в работах [1, 2]. Оценка ведется по 4 пулам углерода: фитомассе, мертвой древесине, подстилке и органическому веществу почвы. Рассмотрим детальнее расчет запасов и баланса углерода в пуле почвы. Для основных лесообразующих пород в дифференциации по 12 зонально-широтным регионам найдены типовые средние запасы углерода в слое почвы 0–30 см. Обнаружено, что запас углерода почвы территорий, испытавших деструктивные нарушения лесного покрова (вырубок и гарей), в среднем составляет 87.9 % от величины для покрытых лесом земель. Используя этот коэффициент, были рассчитаны начальные значения углерода почвы для временно не покрытых лесом земель каждой лесообразующей породы. Время восстановления «лесного» значения пула углерода почвы по рекомендации МГЭИК принято равным 20 лет. В итоге, РОБУЛ учитывает потери почвенного углерода при переходе от покрытых лесом земель к гарям и вырубкам, а абсорбцию – при восстановлении пула углерода в течение первых 20 лет восстановления леса. Такой подход имеет два очевидных недостатка: 1) расчет ограничен слоем почвы 0–30 см; 2) учитывается восстановление углерода почвы лишь за первые 20 лет восстановления леса, а не за весь период его существования. В коррекции этих недостатков и состояла задача настоящей работы.

Для решения этой задачи была использована современная версия базы данных «Почвенные характеристики Северной Евразии» [7]. По сравнению с ранней версией, примененной в работах [1, 2] в нее введены автоматические процедуры заполнения лакун (в первую очередь по отношению к данным по плотности почвенных горизонтов), а также расчета запасов химических элементов по слоям почвы 0–30, 0–50, 0–100 см. Кроме того, база была пополнена информацией, опубликованных в научных изданиях за 2000–2017 гг. Особое внимание было уделено поиску информации о почвенных разрезах, устроенных в лесах с известным возрастом древостоя, на вырубках и гарях.

В табл. представлены соотношения запаса углерода в слоях почвы, усредненные по категориям «гари и вырубки», «средневозрастные леса», «приспевающие и спелые леса», «перестойные леса», «все леса». Вполне очевидна тенденция к увеличению запаса углерода от нарушенных территорий к спелым лесам. На основе значений табл. 1 были рассчитаны типовые значения углерода почвы для возрастных групп лесобразующих пород в дифференциации по широтно-зональным регионам, интегрированные затем в систему РОБУЛ. В полном виде перечисленные выше значения представлены в работе [4].

Отношения запасов углерода в почвах под группами возраста лесов

Группа возраста	Доля углерода почвы от перестойных по слоям		
	0–30 см	0–50 см	0–100 см
Гари и вырубки	0.587	0.600	0.654
Молодняки 1 класса возраста	0.642	0.663	0.702
Молодняки 2 класса возраста	0.714	0.748	0.766
Средневозрастные	0.750	0.790	0.798
Приспевающие	0.854	0.881	0.874
Спелые	0.927	0.940	0.937
Перестойные	1	1	1

Расчеты запасов и потоков углерода с использованием модифицированного почвенного блока системы РОБУЛ проведены для данных ГЛР по состоянию на 01.01.2018 г. Суммарные запасы углерода почвы под покрытыми лесом землями России составили 92.93 ± 14.54 Гт С (млрд т С). Наша предшествующая оценка (Замолодчиков и др., 2018) равнялась 79.58 ± 14.78 Гт С. Различие в основном связано с переходом от слоя почвы 0–30 см к слою 01–100 см.

Величина стока углерода в почву леса Российской Федерации в 2018 г. составляла 136.45 ± 54.31 Мт С год⁻¹. Это в 4.5 раза больше, чем наша предшествующая оценка 30.75 ± 17.38 Мт С год⁻¹ (Замолодчиков и др., 2018). Таким образом, модификация почвенного блока РОБУЛ в большей степени сказалась на увеличении оценки стока углерода, чем его запасов в почвах лесов Российской Федерации.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28.
2. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 36–49.
3. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В. Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1, № 1. С. 1–24.

4. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В.* Новая оценка баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Биоразнообразии и функционирование лесных экосистем. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. С. 153–174.

5. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2021 гг. Часть 1. Москва, 2023. 479 с.

6. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.

7. *Честных О.В., Замолодчиков Д.Г.* Почвенные характеристики Северной Евразии. Свидетельство о регистрации базы данных 2018621164. Дата государственной регистрации 2 августа 2018 г.

ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ КАК ФАКТОР УСПЕШНОСТИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ДИСКРЕТНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ ЭКСКАВАТОРАМИ

Ильинцев А.С.^{1,2}, Наквасина Е.Н.^{1,2}, Богданов А.П.^{1,2}

¹ *Северный НИИ лесного хозяйства*

² *Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, a.ilintsev@narfu.ru*

Дискретная обработка почвы широко распространена в зарубежных странах [4], и по сравнению с традиционной плужной эффективна с точки зрения последующей выживаемости и роста сеянцев [3]. Она имеет преимущество в меньшем нарушении почвы [1], что важно для успешности лесовосстановления и решения экологических проблем [2]. В России применение экскаваторной техники, агрегатированной с современными лесозаготовительными комплексами, может найти преимущества в случае отсутствия специализированных лесокультурных машин. Однако для условий Европейского Севера, отличающегося спецификой не только климатических, но и почвенных характеристик, исследования по использованию современной техники и технологии механической обработки почвы под создание лесных культур с помощью экскаваторов полосами и микроповышениями отсутствуют.

Исследования провели на 31 лесокультурной площади на территории Архангельской области и Республики Коми (подзоны северной и средней тайги). Обработка почвы на всех лесокультурных площадях была проведена тяжелыми экскаваторами с применением стандартного ковша объемом 0,8–1,0 м³. Заложили пробные площади для оценки качества лесных культур и обработки почвы, а также провели отбор образцов почвы в корнеобитаемом слое в соответствии со стандартными методиками (по 10 образцов на обработанных местах и в местах, где не было обработки почвы). Определили основные водно-физические свойства почвы (полевую влажность, плотность сложения, плотность твердой фазы, общую пористость и пористость аэрации) общепринятыми в почвоведении методами.

Результаты исследования показывают, что приживаемость лесных культур на участках исследования изменяется в пределах от 61 до 100 %, и связана с лесорастительными условиями (снижается в полугидроморфных условиях) и вида посадочного материала (ниже у ОКС). Оценка качества лесных культур, созданных сеянцами сосны и ели ОКС и ЗКС, показала, что их густота в целом соответствует нормативным показателям, заложенным в проектах искусственного лесовосстановления.

При обработке почвы полосами (средняя ширина 1,2 м) глубина обработки почвы составляет в среднем 12,4 см, с удалением слоя лесной подстилки и, частично, минерального горизонта. Микроповышения, для которых характерно механическое разрыхление и пере-слаивание горизонтов, сформированы через 1–1,5 м как в пасеках, так и на технологических коридорах.

Анализируемые физические свойства (плотность сложения, общая пористость, пористость аэрации) на большинстве изучаемых участков входят в допустимые пределы для роста растений. Однако почвенные условия при обработке почвы полосами и микроповышениями разнятся и оказывают влияние на успешность роста сеянцев ОКС и ЗКС.

На участках с полосной дискретной обработкой почвы плотность сложения корнеобитаемого слоя на обработанных полосах несколько выше, и существенно отличается от показателей в корнеобитаемом слое почвы в пасаках ($t = 2,1$, $p = 0,036$), но лежит в допустимых пределах для роста растений. Достоверное различие установлено в значениях общей пористости в полосах и пасаках ($t = 2,0$, $p = 0,043$). Пониженная пористость в корнеобитаемом слое почвы в полосах может быть связана с изменениями строения этой толщи за счет сдирания экскаватором части верхнего минерального слоя. Значительные колебания в корнеобитаемом слое обработанной почвы полосами отмечены по пористости аэрации, которая в летний период колеблется в диапазоне от 1,6 до 41,4 % (в среднем 17,4 %), что сопоставимо с верхними горизонтами в пасаках ($t = 0,02$, $p = 0,98$). Установлена обратная умеренная связь между приживаемостью лесных культур и плотностью сложения, однако коэффициент значимости находится на уровне статистической тенденции ($\rho = -0,464$, $p = 0,09$). В 52 % случаях наблюдается обратная связь. С увеличением плотности сложения приживаемость снижается. Прямая умеренная связь установлена между приживаемостью и общей пористостью, однако коэффициент значимости также находится на уровне статистической тенденции ($\rho = 0,445$, $p = 0,10$). В 43 % случаях наблюдается прямая связь. В пределах изученных объектов с увеличением общей пористости повышается приживаемость высаженных сеянцев. Наибольшее влияние на приживаемость лесных культур при полосной обработке почвы экскаваторами ($\rho = 0,564$, $p = 0,04$) оказал показатель пористости аэрации. В 75 % случаях наблюдается прямая связь: с увеличением пористости аэрации повышается приживаемость.

Обработка почвы путем создания микроповышений с помощью экскаваторов в условиях севера обеспечивает достаточно благоприятные водно-воздушные свойства посадочных мест для создания лесных культур посадочным материалом ЗКС и ОКС. Но в то же время, плотность сложения корнеобитаемого слоя в них выше на 8 % ($t = 4,8$, $p < 0,05$), а влажность ниже на 11,4 % ($t = 10,0$, $p < 0,05$) по сравнению с верхними горизонтами почвы, где не было обработки. Уплотнение почвы в микроповышениях снижает общую пористость на 5,9 % по сравнению с почвой естественного состояния ($t = 6,4$, $p < 0,05$). Несмотря на повышение плотности сложения, в микроповышениях на 5,7 % ($t = 4,6$, $p < 0,05$) увеличивается пористость аэрации, на которую повлияло снижение влажности. Также большое влияние на приживаемость лесных культур ели с ОКС оказала влажность корнеобитаемого слоя почвы в диапазоне 16,9–23,1 %. Установлена обратная высокая связь между исследуемыми переменными ($\rho = -0,894$, $p = 0,04$). В 92 % случаях со снижением влажности в этих пределах увеличивается приживаемость культур. Влажность почвы в микроповышениях может оказать большее влияние на рост сеянцев с ОКС, чем питательный режим почвы. Однако, исследования показали, что связь между приживаемостью сеянцев с ЗКС, высаженных на микроповышения, подготовленные экскаваторами, и водно-физическими свойствами почвы отсутствует.

Таким образом, обработка почвы с помощью экскаваторной техники создает специфические свойства почвы в создаваемых полосах и микроповышениях, которые могут оказывать как положительный, так и отрицательный эффект для роста сеянцев. Это зависит прежде всего от типа лесорастительных условий, и позволяет ориентировать исследования на разработку рекомендательных мер по совершенствованию технологических приемов их подготовки. Изучение современной практики искусственного лесовосстановления на Европейском Севере (подзоны северной и средней тайги) показывает, что при обработке холодных и бедных почв на вырубках Севера важно так применять технологические приемы обработки почвы, чтобы наиболее рационально использовать почвенные ресурсы (водно-воздушный и тепловой режим) для повышения приживаемости лесных культур.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований (№ 122020100319-9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алябьев А.Ф. Опыт создания культур ели при дискретной обработке почвы орудием ОДП-0,6 // Лесной вестник. 2015, № 6. С. 28–33.
2. Orlander G., Gemmel P., Hunt J. Site preparation. A Swedish overview. Chapter 4, site preparation methods. FRDA Report 105. Canada, 1990. 67 p. URL: <https://www.for.gov.bc.ca/HFD/pubs/docs/Frr/Frr105.htm>.
3. Saksa T., Heiskanen J., Miina J., Tuomola J., Kolstrom T. Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland // Silva Fennica. 2005. Vol. 39, no. 1. PP. 143–153.
4. Uotila K., Luoranen J., Saksa T., Laine T., Heiskanen J. Long-term growth response of Norway spruce in different mounding and vegetation control treatments on fine-textured soils // Silva Fennica. 2022. Vol. 56, no. 4, article id 10762. 20 p. URL: <https://doi.org/10.14214/sf.10762>.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА КУЛЬТУР ЕЛИ, СОЗДАНЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Неронова Я.А., Пеккоев А.Н.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, neronovaya@yandex.ru, pek-aleksei@list.ru

Лесокультурный фонд Республики Карелия представлен различными категориями земель: вырубками, гарями, погибшими насаждениями и др. Травяно-злаковые (вейниковые) вырубки являются наиболее важным объектом для лесокультурного освоения, так как естественное возобновление ценных хвойных древостоев естественным путем здесь затруднено и часто сопровождается сменой породного состава на малоценные лиственные [5]. Злаковые вырубки характеризуются достаточно плодородными почвами и благоприятным режимом увлажнения [4, 6]. В первые годы после рубки на них распространены такие виды как вейник лесной, луговик извилистый, иван-чай, которые в условиях полного освещения интенсивно размножаются и получают обильное развитие, усиливая конкурентное влияние на естественное возобновление древесных пород или искусственно созданные насаждения. Таким образом, при выборе способов и методов лесовосстановления вейниковых вырубок следует учитывать почвенные, лесорастительные и экологические условия данных территорий, а также планировать необходимые агротехнические мероприятия. Одним из важных агротехнических приемов в создании лесных культур является обработка почвы. При проведении этого мероприятия на начальных этапах развития лесных сообществ сдерживается развитие нежелательной травянистой растительности и обеспечивается успешный рост насаждений [8]. В литературе имеются данные о положительном влиянии обработки почвы на структуру почвенного покрова за счет активизации микробиологических процессов и оптимизации воздушного, водного, теплового и питательного режимов [1, 7, 9]. При оценке эффективности различных технологий создания и выращивания лесных культур необходимо установить степень и продолжительность влияния агротехнических приемов, на количественные и качественные характеристики прироста получаемой древесины.

Исследования по оценке влияния различных способов обработки почвы на радиальный прирост, характеристики микроструктуры древесины и сохранность культур проводились в 24-летних культурах ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), созданных сотрудниками Института леса КарНЦ РАН в условиях вейниковой вырубки смешанного елово-лиственного насаждения [5]. Почва на исследуемых объектах – бурозем супесчаный на моренных

отложениях. Перед созданием культур на участке проведена обработка почвы. Эксперимент включал в себя 3 варианта: 1 – удаление подстилки полосами шириной 0,7–0,8 м, 2 – создание микроповышений из перемешанных органоминерального и минерального горизонтов почвы высотой 10–15 см; 3 – необработанная почва (целина). При посадке использовались 5-летние саженцы (3 + 2) ели с открытой корневой системой. Агротехнические уходы заключались в отапывании травы вокруг посадочных мест. В первые два года выращивания культуры были повреждены большим сосновым долгоносиком. Уборка поросли проводилась коридорным методом в 8-летнем возрасте. На опытных участках проведены лесотаксационные работы и отбор образцов древесины у модельных деревьев на высоте 0,2 м.

Во всех вариантах опыта саженцы имели высокую приживаемость (94–99 %), что объясняется довольно высокой устойчивостью данного посадочного материала к отрицательному влиянию ряда экологических факторов. К 24-летнему возрасту сохранность культур ели в условиях вейниковой вырубki составляла 92 %. В первое десятилетие роста культур по микроповышениям ширина годичного слоя превышала на 17 и 22 % значения на вариантах с посадкой по удаленной подстилке и по целине, соответственно. После наступления в культурах фазы смыкания крон, сопровождающейся усилением внутривидовой конкуренции и приходящейся на начало второго десятилетия роста культур, ширина годичного слоя у деревьев, высаженных по микроповышениям, несколько снизилась и далее лимитировалась более высокой густотой древостоя, в сравнении с вариантом без обработки почвы. Аналогичные результаты были получены И.А. Марковой (2012), в культурах хвойных пород плантационного типа, где отмечалось влияние обработки почвы путем создания гряд, пластов или микроповышений на рост древостоя в течение первых 15–30 лет.

Влияние ширины годичного слоя на качество древесины нельзя рассматривать отдельно от влияния других факторов, таких как, процентное содержание поздней древесины и анатомическое строение древесины. Доля поздней древесины в годичном слое является довольно информативным показателем, функционально связанным с объемным весом и плотностью древесного сырья [2, 3]. Несмотря на то, что в первом десятилетии отмечается более активный рост культур по микроповышениям, к 24 годам достоверных различий по содержанию поздней древесины у культур, созданных различными способами обработки почвы не зафиксировано. В варианте с удаленной подстилкой значение доли поздней древесины было наибольшим и составило 27 %, что можно объяснить достоверным увеличением диаметра люмена клеток поздней древесины на 42 % и повышением толщины их стенки (+13 %). Можно отметить, что изменения в интенсивности роста и в структуре древесины ели могут быть связаны с высокой конкуренцией за почвенную влагу, питание и свет, возникающей при высокой густоте культур. Исходя из полученных результатов исследования, при создании культур ели в условиях вейниковой вырубki положительное влияние различных способов обработки почвы на радиальный прирост древесины наблюдается преимущественно до начала второго десятилетия, а на рост насаждений в высоту – более длительное время. В дальнейшем формирование древесины определяется густотой стояния древостоя. При использовании различных способов обработки почвы в культурах ели, можно говорить, что для форсирования роста насаждений на дренированных почвах наиболее оптимальными являются посадки саженцев по микроповышениям.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркова И.А. Лесоводственная эффективность плантационного выращивания на Северо-западе России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. Вып. 198. С. 16–23.
2. Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: АГТУ, 2003. 110 с.
3. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная промышленность, 1976. 160 с.

4. *Смирнов А.П., Смирнов А.А., Монгуш Б. Ай-Д.* Продуктивность хвойных древостоев и естественное возобновление на вырубках в связи с плодородием лесной почвы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 28–46. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.28-46.
5. *Соколов А.И.* Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с.
6. *Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Синькевич С.М., Загуральская Л.М.* Оценка продуктивности лесных почв Карелии. Петрозаводск, 2000. 195 с.
7. *Nilsson U., Luoranen J., Kolström T., Örländer G., Puttonen P.* Reforestation with planting in northern Europe // Canadian Journal of Forest Research. 2010. No 25(4). P. 283–294. DOI: 10.1080/02827581.2010.498384.
8. *Sikström U., Hjelm K., Holt Hanssen K., Saksa T., Wallertz K.* Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia – a review // Silva Fennica. 2020. No 54(2). P. 1–35. DOI: 10.14214/sf.10172.
9. *Sutton R.F.* Mounding site preparation: a review of European and North American experience // New Forests. 1993. No 7. P. 151–192. DOI: /10.1007/BF00034198.