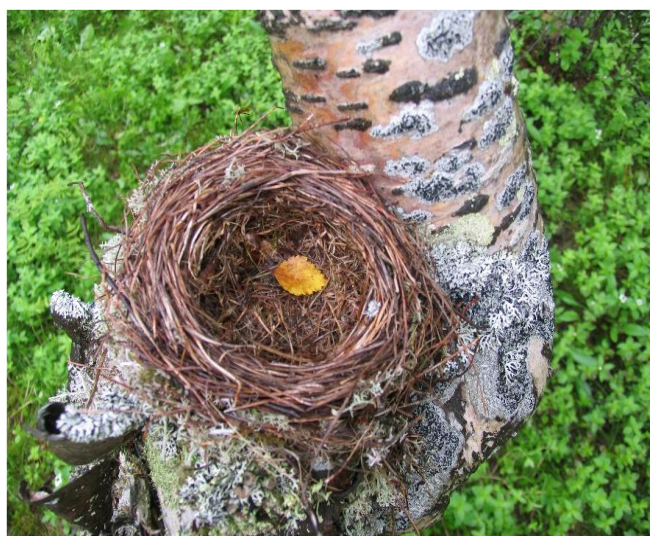


**МАТЕРИАЛЫ VIII
ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ С
МЕЖДУНАРОДНЫМ
УЧАСТИЕМ**

**"ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ И
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ"**



**24-27 СЕНТЯБРЯ 2019
Г.МОСКВА**



УДК 630*114

ISBN

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ: МАТЕРИАЛЫ VIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ – М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. 405 с.

Конференции по проблемам лесного почвоведения проводятся регулярно с 2005 года. Эти конференции стали площадкой для обсуждений актуальных проблем лесного почвоведения, также школой для молодых ученых-почвоведов. Организатором VIII Всероссийской научной конференции с международным участием "Лесные почвы и функционирование лесных экосистем" в 2019 году выступает ЦЭПЛ РАН. На конференции будут обсуждаться следующие фундаментальные научные проблемы:

- Диагностика лесных почв
- Режимы лесного почвообразования
- Факторы и механизмы динамики лесных почв
- Функции лесных почв
- Роль растительности и почвенной биоты в формировании лесных почв
- Картографирование лесных почв

Большое внимание будет уделено использованию междисциплинарных подходов к решению проблем лесного почвоведения, а также решению прикладных научных задач:

- Мониторинг лесных почв
- Лесные почвы и лесное хозяйство

В конференции примут участие 265 человек, среди них члены РАН, доктора и кандидаты наук, молодые ученые. Научная программа включает 35 пленарных и 125 устных докладов. Для почвоведов, работников лесного хозяйства, экологов, биологов, специалистов по ГИС, преподавателей, студентов высших учебных заведений и всех, кого интересует лесное почвоведение.

Редакционная коллегия: к.б.н. Данилова М.А., к.б.н. Гераськина А.П., к.б.н. Горнов А.В., член-корр. Лукина Н.В., к.т.н. Плотникова А.С., к.б.н. Тебенькова Д.Н., Кузнецова А.И., Дулина А.А., Никитина А.Д.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ДИАГНОСТИКА ЛЕСНЫХ ПОЧВ	10
<i>Апалькова Т.Г., Белотелов Н.В., Ольчев А.В.</i> АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭКСЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ	11
<i>Балсанова Л.Д., Гынинова А.Б., Гончиков Б.-М., Найданов Б.Б., Цыбикдоржиев Ц.Ц., Халюева Т.И.</i> ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ	14
<i>Буторин А.А., Грехова И.В.</i> ПОЧВЫ ХВОЙНОГО ЛЕСА ЛЕУШИНСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ХМАО	17
<i>Герасимова М.И., Чертов О.Г., Надпорожская М.А.</i> ФОРМЫ ГУМУСА В ПОЧВЕННЫХ КЛАССИФИКАЦИЯХ	18
<i>Головлева Ю.А., Красильников П.В.</i> ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПРОФИЛЯ ТАЁЖНЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ НА ТЕРРАСАХ РЕК СИБИРИ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЕ	21
<i>Денисова Е.Э., Макеев А.О., Курбанова Ф.Г.</i> ФИТОЛИТНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ПОД ШИРОКОЛИСТВЕННЫМИ ЛЕСАМИ	23
<i>Зубкова Т.А.</i> НАУЧНЫЙ ВКЛАД ПРОФЕССОРА ЛЬВА ОСКАРОВИЧА КАРПАЧЕВСКОГО В РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ	24
<i>Кретинин В.М.</i> ГЕНЕЗИС И КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В СТЕПНЫХ, ПУСТЫННЫХ ЗОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ	27
<i>Медведева М.В.</i> ЭКОЛОГО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ КАРЕЛИИ	30
<i>Немков П.С., Грехова И.В.</i> ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ ХВОЙНОГО ЛЕСА СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	32
<i>Оруджева Н.И., Бабаев М.П.</i> ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ ВЛАЖНЫХ И ПОЛУЗАСУШЛИВЫХ СУБТРОПИКОВ АЗЕРБАЙДЖАНА И ИХ КОМПОНЕНТЫ	33
<i>Полянская Л.М., Калимова И.В.</i> НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ СПОР И МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ	36
<i>Разгулин С.М.</i> МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И АССИМИЛЯЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ РЯДУ ЮЖНОТАЕЖНЫХ БЕРЕЗНЯКОВ	38
<i>Рамазанова Ф.М.</i> ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В СУХОЙ СУБТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНА	40
<i>Распопина С.П.</i> ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОЧВ	44
<i>Рожков В.А.</i> ЦИФРОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ	47
<i>Рыкова Т.В., Мартынюк А.А.</i> ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И КОМПОНЕНТОВ ФИТОЦЕНОЗОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫЕ ВЫПАДЕНИЯ ЦИНКА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	49
<i>Самофалова И.А.</i> КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ (ХРЕБЕТ БАСЕГИ)	52
<i>Сауткина М.Ю., Чевердин Ю.И.</i> ВЛИЯНИЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА СТРУКТУРУ МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА ПОЧВ КАМЕННОЙ СТЕПИ	55
<i>Сымпилова Д.П., Бадмаев Н.Б.</i> ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА И ГЕОГРАФИИ СЕРОГУМУСОВЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ	58
<i>Ударцев И.А., Грехова И.В.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	61

<i>Фоминых Л.А.</i> О ПРИЧИНАХ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕСИБИРСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ	64
<i>Шахтарова О.В., Холопов Ю.В., Лаптева Е.М.</i> СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ	67
СЕКЦИЯ 2. РЕЖИМЫ ЛЕСНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ	71
<i>Бакина У.О., Семаль В.А., Иванов А.В.</i> ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ ПОД РАЗНОВОЗРАСТНЫМИ КЕДРОВЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ ЛЕСНОГО УЧАСТКА ПРИМОРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ	72
<i>Волокитин М.П.</i> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ ФИТОЦЕНОЗАМИ	73
<i>Подурец О.И.</i> ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ АЛАТАУСКО-ШОРСКОГО НАГОРЬЯ	76
<i>Сергеева О.В., Мухортова Л.В., Кривобоков Л.В.</i> ЗАПАСЫ И ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПОДСТИЛКИ В ЭТАЛОННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРНОЙ И СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЭВЕНКИИ	79
<i>Сорокина О.А.</i> ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ СТЕПНЫХ ПОЧВ В КАТЕНАХ ПОД ИСКУССТВЕННЫМИ ЛЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ	82
<i>Чевердин Ю.И., Сауткина М.Ю.</i> РОЛЬ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ИЗМЕНЕНИИ СОЛЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕРНОЗЕМОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ	85
СЕКЦИЯ 3. ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	88
<i>Ахметова Г.В.</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ КАРЕЛИИ	89
<i>Бараненкова А.А., Крылова Е.Н., Югай Е.С., Королькова И.О., Петрухин К.А.</i> ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫЕ ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В МОСКОВСКОМ УЧЕБНО-ОПЫТНОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ	92
<i>Н.Н. Бондаренко, Е.М. Лаптева, Е.В. Кызьюрова</i> ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ	93
<i>Брянин С.В., Сулопарова Е.С., Молчанов Д.А., Абрамова Е.Р.</i> ПОСТПИРОГЕННЫЙ УГОЛЬ КАК ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТАЁЖНЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	96
<i>Дымов А.А.</i> ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ: ПУЛЫ, ФРАКЦИИ, ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ РОЛЬ	99
<i>Ершов Ю.И.</i> ЛЕСНОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ И КОНЦЕПЦИЯ ЛЕСОФИТОПЕДОГЕННОГО КОМПЛЕКСА	102
<i>Завгородняя Ю.А., Бажанова А.Е., Анохина Н.А., Демин В.В.</i> ЛИПИДНЫЕ БИОМАРКЕРЫ В ПОЧВАХ ПОД ШИРОКОЛИСТВЕННЫМИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ ЛЕСНЫХ ЗОН БОЛЬШОЙ МОСКВЫ	105
<i>Зенкова И.В., Липкина Т.В.</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ПОД ЛЕСОМ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНЫХ ВОДООХРАННЫХ ПОЛОС УЧИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МОСКОВСКОЙ ОБЛ.).	108
<i>Ковач Р.Г., Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Белик А.Д.</i> СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ПОЧВАХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА	112
<i>Курганова И.Н., Овсяян Л.А., Лопесде Гереню В.О., Личко В.И.</i> ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И МИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ЛЕСНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОН	113
<i>Махинова А.Ф., Махинов А.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТАЕЖНЫХ ПОЧВ В ПРИОХОТЬЕ И МЕХАНИЗМЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ	116

<i>Опекунова М.Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю., Лисенков С.А., Спасский В.В.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	118
<i>Пампура Т.В., Зарубина О.В.</i> ТРАДИЦИОННЫЕ (Рb) И НОВЫЕ (REE) ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В ЗАПОВЕДНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ	121
<i>Парфенова Е.И.</i> ГЛУБИНА СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ В СИБИРИ В XXI ВЕКЕ, СМОДЕЛИРОВАННАЯ ПО СЦЕНАРИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА СМIP5	125
<i>Д.Г. Петров, Н. С. Мергелов, Э. П. Зазовская, А. В. Долгих, С. В. Горячкин</i> ПИРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ СЕВЕРА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: АРХИВЫ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ	128
<i>Полякова Н.В., Платонычева Ю.Н.</i> ДИНАМИКА ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ	131
<i>И.И. Судницын</i> ДАВЛЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЛЕСА	134
<i>Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Смирнов В.Э., Иващенко К.В.</i> СВОЙСТВА ПОЧВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАБРОШЕННЫХ ПАШНЯХ ЮГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ	137
<i>Чертов О.Г.</i> ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ	140
<i>Шопина О.В., Кадетов Н.Г., Семенков И.Н.</i> ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЕСКОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ В ПОЛЕССКИХ ЛАНДШАФТАХ КЕРЖЕНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	142
<i>Шорохова Е.В., Капица Е.А., Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П.</i> КРУПНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ ОСТАТКИ В МУССОННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ ВЬЕТНАМА: НЕИЗУЧЕННЫЙ ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ	145
СЕКЦИЯ 4. ФУНКЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	148
<i>Абакумов Е.А., Першина Е.А., Иванова Е.А., Андронов Е.Е., Гладков Г.В., Зверев А.О., Кимеклис А.К.</i> МИКРОБИОМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	149
<i>Апарин Б.Ф., Сухачёва Е.Ю., Захарова М.К.</i> ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВ	152
<i>Бакина Л.Г., Чугунова М.В., Маячкина Н.В., Герасимов А.О.</i> РОЛЬ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ	155
<i>Бобкова К.С., Кузнецов М.А.</i> ЗОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ БЮДЖЕТА УГЛЕРОДА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-ФИТОЦЕНОЗ В КОРЕННЫХ ЕЛЬНИКАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА	158
<i>Бобрик А.А., Гончарова О.Ю., Матышаков Г.В., Тимофеева М.В., Петржик Н.М., Петров Д.Г.</i> ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭМИССИИ CO ₂ ПОЧВАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	160
<i>Болдескул А.Г., Бурдуковский М.Л., Луценко Т.Н., Кожевникова Н.К., Шамов В.В., Губарева Т.С.</i> РОЛЬ ПОЧВ В ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД В ЛАНДШАФТАХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ	163
<i>Габерштейн Т.Ю.</i> МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА	167
<i>Громова М.С., Матвиенко А.И., Меняйло О.В.</i> ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ЛЕГКОРАЗЛАГАЕМОГО СУБСТРАТА НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ	170

<i>Енчилик П.Р., Семенов И.Н., Иовчева А.Д., Асеева Е.Н., Самонова О.А., Терская Е.В.</i> РЯДЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ МЕТАЛЛОВ В ЮЖНОТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТАХ	172
<i>Зинченко А. В.</i> ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРУ ИЗ ПОЧВ ТАЕЖНО ЛЕСНОЙ ЗОНЫ	175
<i>Иванов А.В., Лошаков С.Ю., Косинов Д.Е.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА УГЛЕРОДА ОТ РАЗЛОЖЕНИЯ ВАЛЕЖА В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ КЕДРОВНИКАХ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ	177
<i>Иванов Д.Г., Курбатова Ю.А.</i> ПОЧВЕННАЯ ЭМИССИЯ CO ₂ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА	181
<i>Кузнецов М.А., Лиханова Н.В., Бобкова К.С.</i> ВОЗДЕЙСТВИЕ СПЛОШНОЛЕСОСЕЧНОЙ РУБКИ НА ПОТОКИ УГЛЕРОДА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-ФИТОЦЕНОЗ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА НА ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВАХ	183
<i>Лопес Де Гереню В.О., Каганов В.В., Курганова И.Н., Личко В.И., Кузнецов А.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ВЫСОТНОГО ГРАДИЕНТА НА ДЫХАНИЕ ПОЧВ В ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА	185
<i>Матвиенко А.И., Громова М.С., Меняйло О.В.</i> ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ С В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПРИ ВНЕСЕНИИ РАЗНЫХ ФОРМ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА	188
<i>Меняйло О.В., Малышева О.Е., Матвиенко А.И., Громова М.С.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТИПА ЭКОСИСТЕМЫ, АЗОТНЫХ И ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ И ПРАЙМИНГ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ	191
<i>Мошкина Е.В., Мамай А.В., Ромашкин И.В.</i> ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭМИССИЮ CO ₂ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (НА ПРИМЕРЕ КАРЕЛИИ)	194
<i>Рыжова И.М., Чернова О.В., Подвезенная М.А.</i> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДА ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ В ОБЩИЕ ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА ЛЕСНЫХ РЕГИОНОВ	196
<i>Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л.</i> МИКРОМАСШТАБНАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	199
<i>Солнышкин И.А., Токарева И.В., Прокушкина М.П., Прокушкин А.С.</i> ПРОЦЕССЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ТЕРРИГЕННОГО УГЛЕРОДА В ГИДРОГРАФИЧЕСКУЮ СЕТЬ В БАССЕЙНЕ Р. ЕНИСЕЙ: АДСОРБЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ	202
<i>Честных О.В., Грабовский В.И., Замолодчиков Д.Г.</i> ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ	205
<i>Шарый П.А., Шарая Л.С.</i> ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД ПОЧВ: НАСКОЛЬКО КОРРЕКТНА ОЦЕНКА ПО ЭТАЛОНАМ?	209
СЕКЦИЯ 5. РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ В ФОРМИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	212
<i>Н.А. Артемкина, М.А. Данилова, Н.В. Лукина</i> СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТИТЕЛЬНОМ ОПАДЕ И ОРГАНОГЕННОМ ГОРИЗОНТЕ ПОЧВ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ НА СЕВЕРНОМ ПРЕДЕЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ	213
<i>Валдайских В.В., Некрасова О.А., Радченко Т.А.</i> НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА Al-Fe-ГУМУСОВЫХ ПОДЗОЛОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПОД ЛЕСНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ В ЯМАЛЬСКОЙ ЛЕСОТУНДРЕ	214

<i>Гераськина А.П., Кузнецова А.И., Шевченко Н.Е., Тихонова Е.В., Горнов А.В., Тебенькова Д.Н., Лукина Н.В.</i> ВЛИЯНИЕ МОРФО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ НА АККУМУЛЯЦИЮ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ	217
<i>Головченко А.В., Глухова Т.В.</i> СТРУКТУРА МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ И ПОЧВ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ	220
<i>Гродницкая И.Д., Антонов Г.И., Кондакова О.Э., Кузнецова Г.В.</i> ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОД ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ КУЛЬТУРАМИ КЕДРОВЫХ СОСЕН В ДВУХ МЕСТАХ ТЕСТИРОВАНИЯ	223
<i>Давыденко Н.М., Иванисова Н.В., Куринская Л.В.</i> ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ПРИДОРОЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	225
<i>Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф., Мелентьева Н.В.</i> ЗНАЧЕНИЕ НАПОЧВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА БОЛОТНЫХ БЕРЕЗНЯКОВ ЭУТРОФНЫХ МЕСТООБИТАНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ ПОДСТИЛОК	227
<i>Иванова Е.А., Лукина Н.В., Данилова М.А., Артемкина Н.А., Смирнов В.Э., Еришов В.В., Исаева Л.Г.</i> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ НА СЕВЕРНОМ ПРЕДЕЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ	230
<i>Калимова И.Б., Дроздова И.В., Ставрова Н.И., Алексеева-Попова Н.В.</i> ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЧВ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЗЕЛЕНОМОШНОЙ И ЛИШАЙНИКОВОЙ СЕРИИ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ	233
<i>Кондратова А.В., Абрамова Е.Р., Смускина И.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАДА В ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛИСТВЕННИЧНИКАХ	236
<i>Корнейкова М.В., Редькина В.В.</i> АЛЬГО-МИКОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СОСНОВОМ И БЕРЕЗОВОМ ЛЕСАХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК»	239
<i>Костенко И.В.</i> ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГОРНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВАХ КРЫМА	243
<i>Кошкарлова А.В., Гренадерова А.В.</i> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ РАКОВИННЫХ АМЕБ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛИСТВЕННИЧКАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭВЕНКИИ	246
<i>Кречетов П.П., Черницова О.В.</i> РАДИАЛЬНАЯ И ЛАТЕРАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ	248
<i>Кулакова Н.Ю.</i> ОСОБЕННОСТИ КРУГОВОРОТА БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОЛУПУСТЫНИ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ	251
<i>Куприянова Ю.В., Митирева Е.А., Кадулин М.С., Копчик Г.Н.</i> ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ВАЛЕЖА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЕГО РАЗЛОЖЕНИЯ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОДЗОНЫ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ	254
<i>Лаптева Е.М., Виноградова Ю.В., Ковалева В.А., Перминова Е.М., Генрих Э.А.</i> ПОЧВЕННЫЕ МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА КАК ИНДИКАТОР ТРАНСФОРМАЦИИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ В ПРОЦЕССЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ СУКЦЕССИЙ	258
<i>Лысак Л.В., Лапыгина Е.В.</i> СПЕЦИФИКА МИКРОБНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ ЕЛИ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ	261
<i>Лябзина С.Н., Приходько А.Н., Попов В.Л.</i> К ИЗУЧЕНИЮ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОГРЕБЕННЫХ ТРУПОВ	264
<i>Макеева О.Л.</i> РОЛЬ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ПОЧВ СУХОЙ СТЕПИ	265

<i>Максимович С.В., Евдокимов И.В., Кураков А.В., Горленко М.В., Костина Н.В., Иванова А.Е., Степанов А.Л.</i> ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В РАЗЛАГАЮЩЕЙСЯ ДРЕВЕСИНЕ	269
<i>Малахова Н.А.</i> СУКЦЕССИЯ ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ТАЁЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	271
<i>Маслов М.Н., Маслова О.А., Токарева О.А.</i> РОЛЬ СПОСОБА КОНСЕРВАЦИИ ОБРАЗЦОВ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЛАБИЛЬНОГО И МИКРОБНОГО ПУЛОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА	273
<i>Молчанов А.Г.</i> ЭМИССИЯ CO ₂ С ПОВЕРХНОСТИ ОСУШЕННОГО, А ЗАТЕМ ОБВОДНЕННОГО БОЛОТА	276
<i>Муслимова А.В., Мустафин Р.Ф., Хабиров И.К. Раянова А.Р., Кудашева Н.</i> ПОЛЕЗАЩИТНЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЛОСЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН	279
<i>Перминова Е.М., Лаптева Е.М., Зуева О.М., Останина О.А.</i> ВЛИЯНИЕ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕТАЁЖНОГО ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНОГО НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ	282
<i>Пятинина Е.В., Касаткина Г.А., Устюжанина А.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЛИСИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	285
<i>Ревина О.А., Ревин А.Г.</i> АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЛЕСОВ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ, ГРАНИЧАЩИХ С РЕСПУБЛИКОЙ БЕЛАРУСЬ	287
<i>Розанова О.Л., Семенова Е.Э.</i> «АРТРОПОДНЫЙ ДОЖДЬ» КАК МЕХАНИЗМ ТРОФИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ НАДЗЕМНЫМ И ПОЧВЕННЫМ ЯРУСАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)	290
<i>Рыбакова Н.А.</i> ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ЮЖНОТАЕЖНЫХ БЕРЕЗНЯКАХ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ СТАДИЙ С ЕЛЬЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ	292
<i>Сабиров Р.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОВ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ	295
<i>Самбуу А.Д.</i> РОЛЬ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ФОРМИРОВАНИИ ГОРНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ТУВЫ	298
<i>Сапронов Д.В.</i> ДИНАМИКА ПОСТУПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА В ПОЧВУ С ОПАДОМ	300
<i>Семенова Е.Э., Розанова О.Л.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ АРТРОПОД, ПАДАЮЩИХ ИЗ КРОН ДЕРЕВЬЕВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА	302
<i>Соколова Т.А., Толпешта И.И., Данилин И.В., Изосимова Ю.Г.</i> СПЕЦИФИКА СВОЙСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В РИЗОСФЕРЕ РАЗНЫХ ВИДОВ ДЕРЕВЬЕВ	304
<i>Телеснина В.М., Семенюк О.В., Богатырев Л.Г.</i> РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК	307
<i>Цуриков С.М.</i> СОСТАВ И СТРУКТУРА ТРОФИЧЕСКИХ НИШ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ «ПОДВЕШЕННОГО» ОПАДА, КАК УНИКАЛЬНОГО СУБСТРАТА ТРОПИЧЕСКОГО МУССОННОГО ЛЕСА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК ДОНГ НАЙ, ЮЖНЫЙ ВЬЕТНАМ) ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ	310
<i>Чернов Т.И., Железова А.Д.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА ПРИ СВЕДЕНИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСОВ	312
СЕКЦИЯ 6. МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	314
<i>Барановский Н.В., Ни А.Э., Максимов В.И., Разва А.С., Базаров А.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СЛОЕ ПОЧВЫ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ	315

<i>Бикмурзина А.А.</i> РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОЧВ В ТЕПЛОМ ДИАПАЗОНЕ НА ОТВАЛАХ БОРОДИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА	316
<i>Глазунов Г.П., Евдокимова М.В., Титарев Р.П., Шестакова М.В.</i> ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ-АКТИВНОЙ БИОМАССЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО МАТЕРИАЛАМ «СОРЕРNICUS» ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	318
<i>Елсукова Е.Ю., Опекунова М.Г.</i> ПОТОКИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ЗОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	320
<i>Жуланова В.Н.</i> СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЧЕДИ-ХОЛЬСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ ТУВЫ	323
<i>Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Честных О.В., Иващенко А.И., Каганов В.В.</i> МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ НА ВАЛДАЕ	326
<i>Исаева Л.Г.</i> ДИНАМИКА СОСТАВА И КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ НА УЧАСТКАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОМБИНАТА	329
<i>Кадыгроб К.А., Голубева Е.И., Зимин М.В.</i> ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ» (Г. МОНЧЕГОРСК, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	331
<i>Коркина И.Н., Воробейчик Е.Л.</i> ИНДЕКС ГУМУСА В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	333
<i>Липатов Д.Н., Щеглов А.И., Манахов Д.В.</i> ВЛИЯНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВОСТОЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО РАДИОЦЕЗИЯ В ЭКОТОПАХ ЕЛЬНИКА	336
<i>Лиханова И. А., Кузнецова Е.Г., Лаптева Е.М., Денева С.В.</i> МОНИТОРИНГ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВ НА ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)	339
<i>Лопатина Д.Н., Белозерцева И.А., Биличенко И.Н.</i> ПОЧВЫ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИБАЙКАЛЬЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРИМОРСКОГО И БАРГУЗИНСКОГО ХРЕБТОВ)	342
<i>Михайлова А.В., Сараева А.Е., Ахметьева Н.П., Коротков А.С., Линник В.Г., Зувев Б.К.</i> ОКСИТЕРМОГРАФИЯ – ЭКСПРЕСС МЕТОД АНАЛИЗА ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО, ДЛЯ ЭКО-МОНИТОРИНГА ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ	346
<i>Москалюк Т.А.</i> ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ	348
<i>Немеров А.М., Трефилова О.В.</i> ФТОРИДЫ В ПОЧВАХ ЛЕСОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ: НАКОПЛЕНИЕ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ	352
<i>Припутина И.В., Фролова Г.Г., Шанин В.Н.</i> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДБУРАХ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА	354
<i>Сухарева Т.А.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ	357
<i>Цветнова О.Б., Щеглов А.И., Грабеклис И.А.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{90}Sr В ПОЧВАХ СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ	360
СЕКЦИЯ 7. ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО	364

<i>Гынинова А.Б., Куликов А.И., Гынинова Б.Д., Гончиков Б.Н., Бадмаев Н.Б., Балсанова Л.Д.</i> ПОСЛЕПОЖАРНОЕ РАЗВИТИЕ ПОЧВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ	365
<i>В.И. Желдак</i> ВОПРОСЫ УЧЕТА ПОЧВЕННО-ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА	368
<i>Наквасина Е.Н., Волков А.Г., Голубева Л.В., Паринова Т.А., Попова А.А.</i> ДИНАМИКА СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ САМОВОССТАНОВЛЕНИИ ЗАЛЕЖЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЛИТОГЕННЫХ МАТРИЦАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА	371
<i>Нижегородова Д.Д., Шестакова Л.Д., Абрамова Л.П.</i> ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ УРАЛЬСКОГО УЧЕБНО- ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА	374
<i>Пуряев А.С.</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭДАФИЧЕСКОЙ СЕТКИ П.С. ПОГРЕБНЯКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН	377
<i>Семенков И.Н.</i> ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОДЗОЛАХ ОБЬ-ПУРОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ	381
<i>А.С. Уманский</i> ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ БАСЕЙНА РЕКИ ГУРЬЕВКИ	384
СЕКЦИЯ 8. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	387
<i>Ананко Т.В., Конюшков Д.Е., Герасимова М.И., Росликова В.И.</i> ПОЧВЫ ТАЕЖНЫХ И ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА НОВОЙ ПОЧВЕННОЙ КАРТЕ РОССИИ МАСШТАБ 1:2.5 МЛН	388
<i>Гаврилюк Е.А., Кузнецова А.И., Горнов А.В.</i> ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И УГЛЕРОДА В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ	391
<i>Гафуров Ф.Г., Коркина И.Н.</i> СОСТАВ И СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕГО УРАЛА НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ВИСИМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА	394
<i>Голованов Д.Л., Сорокин А.С., Красильников П.В., Агаджанова Н.В., Головлева Ю.А., Сидорова В.А.</i> КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННОГО, СУБСТАНТИВНОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПЕДРАЗНООБРАЗИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ	397
<i>Исаченкова Л.Б., Герасимова М.И., Богданова М.Д.</i> КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЕТОМ ИСТОРИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОДМОСКОВЬЯ	400
<i>Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Онтиков П.В., Бараненкова А.А., Максимова А.Н.</i> ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА БАЗЕ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	403
<i>Кудрявцев А.Ю.</i> КАРТИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРА ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ	406

СЕКЦИЯ 1. Диагностика лесных почв



АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭКСЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Т.Г. АПАЛЬКОВА¹, Н.В. БЕЛОТЕЛОВ², А.В.ОЛЬЧЕВ³

¹«Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г.Москва

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Широкое развитие исследований по термодинамике экологических систем в последние годы обусловлено целым рядом факторов и, прежде всего, необходимостью выявления основных механизмов взаимодействия природных экосистем с окружающей средой, потребностью развития новых подходов для описания причинно-следственных связей этого взаимодействия, а также важностью разработки универсальных методов для определения термодинамических параметров экосистем, в том числе, с применением средств дистанционного зондирования (Белотелов и др., 2017; Brunsell et al, 2011; Kay et al., 2001; Jorgensen et al, 2004, 2007; Patterson, 2002; Puzachenko et al, 2016; Svirezhev et al, 1991). Большая часть подходов для определения термодинамических параметров экосистем основана на концепции эксергии. Данная концепция в настоящее время является одной из наиболее распространенных и быстро развивающихся теорий и по существу является развитием классического подхода, использующего потенциалы свободной энергии Гиббса (Gibbs) и Гельмгольца (Gelmholis) (Сивухин, 1975).

В рамках задачи исследования термодинамических процессов в лесных экосистемах в работе рассмотрены возможные взаимосвязи эксергии солнечного излучения с продукционными процессами и процессами переноса тепла и водяного пара в двух типах лесных экосистем: на сплошной свежей вырубке и в ненарушенном старовозрастном лесу. В качестве основного инструмента для выявления и описания существующих зависимостей был использован метод моделирования временной изменчивости эксергии солнечной радиации с помощью данных измерений метеорологических параметров (температуры воздуха), потоков явного (H) и скрытого (LE) тепла, а также валовой первичной продукции (GPP), экосистемного дыхания (RE) и нетто CO₂ обмена (NEE) между земной поверхностью и атмосферой. Эксергия рассчитывалась по данным приходящей и отраженной солнечной радиации (Jimenez-Mufioz et al, 2012).

Предварительный анализ временных рядов для метеорологических характеристик и измеренных потоков показал, что во временной изменчивости каждого параметра четко выделяются колебательные тенденции. Также было выяснено, что осредненные за сутки

временные ряды автокоррелированы. В связи с этим временные ряды моделировались выражением: $y_i = f_i(t) + \varepsilon_i$, где первое слагаемое представляет собой периодическую функцию времени, а второе – некоторое случайное значение. А в качестве суточных значений временных рядов брались полуденные значения. Также значения временных рядов нормировались по максимальному значению, поскольку значения всех рядов были положительными за исключением NEE. С учетом того, что временной ряд NEE линейно связан с GPP, при построении моделей временного ряда он не рассматривался. Для детерминированной части модели рассматривались функции вида:

$$f_i(t) = a_{0i} + a_{1i} \cdot t + a_{2i} \cdot t^2 + \sum_{k=1}^m (c_{ki} \cdot \cos(\omega_k t) + b_{ki} \sin(\omega_k t))$$

Коэффициенты a_{0i} , a_{1i} , a_{2i} , b_{ki} , c_{ki} оценивались методом наименьших квадратов, а значения частот соответствовали – годовой; годовой за вычетом зимнего периода; сезонной;

месячной и декадной периодике. То есть брались следующие значения частот: $\omega_1 = \frac{2\pi}{360}$,

$\omega_2 = \frac{2\pi}{270}$, $\omega_3 = \frac{2\pi}{180}$, $\omega_4 = \frac{2\pi}{90}$, $\omega_5 = \frac{2\pi}{30}$, $\omega_6 = \frac{2\pi}{10}$. После применения метода наименьших

квадратов и получения искомым оценок параметров анализировалось качество модели по критериям точности и надежности коэффициентов, описанным выше. Далее оценивалась случайная компонента на соответствие условиям теоремы Гаусса – Маркова (Айвазян и др., 1998, Седелев, 2001). Для всех построенных оцененных моделей временных рядов были сделаны предположения о нулевом математическом ожидании, постоянной дисперсии и об отсутствии автокорреляции в остатках. В моделях, показывающих связь эксергии с потоками тепла, водяного пара и CO₂, наблюдается небольшая автокорреляция остатков первого порядка (не более 0.5 для леса и не более 0.3 для вырубки первого и второго года), что может свидетельствовать о неэффективности оценок параметров, которые, тем не менее, не смещены, поскольку выполняется гипотеза о нулевом математическом ожидании остатков. Под эффективной оценкой параметра понимается та, которая обладает минимальной дисперсией. Неэффективная оценка, таким образом, не является максимально точной.

В ходе исследования были построены два типа моделей временного ряда эксергии соответствующих трем массивам имеющихся данных: сплошной вырубки первого и второго года, и ненарушенного леса. Первый тип строился, исходя из требований, чтобы объясняющим фактором был временной ряд LE, а второй из требований, чтобы объясняющим фактором был временной ряд GPP.

Модели, описывающие зависимость эксергии от GPP показывают, что в ненарушенном лесу, как и предсказывает «эксергический анализ систем» эксергия или

свободная энергия солнечной радиации полностью переходит в продукцию экосистемы. При этом восстановление нарушенной экосистемы характеризуется максимальными затратами эксергии на H и GPP (сплошная вырубка первого и второго года).

Во второй серии моделей эксергия солнечной радиации ненарушенного леса полностью определяется затратами тепла LE и H . На протяжении вегетационного периода наблюдается уменьшение затрат тепла на испарение и увеличение влияния затрат энергии на GPP .

Таким образом, использование моделей временных рядов для анализа затрат свободной энергии солнечной радиации на различные процессы, происходящие в лесной экосистеме, позволило показать, что в ненарушенном лесу свободная энергия солнечной радиации тратится, либо на создание биологической продукции, либо на испарение и нагрев приземного слоя воздуха. Это достаточно ожидаемый результат, поскольку динамика GPP связана с изменением влажности и температуры. В этой связи, по-видимому следует исследовать модель GPP как функцию LE , что не было пока сделано, поскольку центральным в исследовании был вопрос, связанной с моделированием временного ряда эксергии. Также результаты исследования показали, что на вырубке первого и второго года большая часть свободной энергии затрачивается на H .

ЛИТЕРАТУРА:

- Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 1998.
- Белотелов Н.В., Апалькова Т.Г., Мамкин В.В., Курбатова Ю.А., Ольчев А.В. Некоторые особенности взаимосвязи термодинамических характеристик земной поверхности с потоками водяного пара и диоксида углерода на сплошной свежей вырубке. Компьютерные исследования и моделирование, 2017, том 9, вып.6, с. 965–980.
- Седелев Б.В. Регрессионные модели и методы оценки параметров и структуры экономических процессов. Учебное пособие. Под. ред. В.В.Харитонов. М.: МИФИ, 2009 .
- Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.2, Термодинамика и молекулярная физика, М., Наука, 1975, 551 с.
- Brunsell, N.A.; Schymanski, S.J.; Kleidon, A. Quantifying the thermodynamic entropy budget of the land surface: Is this useful? *Earth Syst. Dyn.* 2011, 2, P. 87-103.
- Jimmenez-Mufioz J.C., Sobrino J.A., Matter C. Recent trends in solar exergy and net radiation at global scale. // *Ecological modeling*. 2012. V. 228, P. 59-65
- Jorgensen S.E., Patten B.C., Straskraba M., 2000. Ecosystems emerging, *Ecological Modelling*. V. 126, P. 249-284.
- Jorgensen S.E., Svirezhev Y.M., 2004. *Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems*. Langford Lane Kidlington. Oxford. Elsevier. 369 p.
- Jorgensen, S.E.; Marques, J.C.; Muller, F.; Nielsen, S.N.; Patten, P.C.; Tiezzi, E.; Ulanowicz, R.E. *A New Ecology: Systems Perspective*; Elsevier: New York, NY, USA, 2007, 275 p.
- Kay J.J., Fraser R.A., 2001. Exergy analysis of ecosystems: final draft establishing a role for thermal remote sensing. Ontario: Univ. Waterloo. 79 p.
- Patterson M.G., 2002. Ecological production based pricing of biosphere processes. Special issue: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives // *Ecological Economics*. №. 41. P. 457-478.
- Puzachenko Y.G., Sandler'sky R.B., Krenke A.N., Olchev A. Assessing the thermodynamic variables of landscapes in the southwest part of East European plain in Russia using the MODIS multispectral band measurements. *Ecological Modelling*, 2016, V. 319, 255–274.
- Svirezhev, Yu. M., Steinborn, W.H., Exergy of solar radiation: information approach. *Ecol. Model.* 1991. V.145, 101–110.

ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Л.Д. БАЛСАНОВА, А.Б. ГЫНИНОВА, Б.-М. ГОНЧИКОВ, Б.Б. НАЙДАНОВ,
Ц.Ц. ЦЫБИКДОРЖИЕВ, Т.И. ХАЛЮЕВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Улан-Удэ

Несмотря на общую протяженность байкальских берегов около 2000 км, над ними большей частью возвышаются горы, за исключением дельты р. Селенги, Баргузинского залива и Чивыркуйского перешейка (Уфимцев и др., 2009). На почвы восточного побережья озера приходится небольшая часть узкой низменной полосы, подпираемой горными хребтами. Занятая трассами и рекреационными объектами, ширина полосы побережья местами едва достигает 100-300 м. Особенностью восточной береговой зоны Байкала является преобладание абразионно-аккумулятивных берегов с низкими террасами песчано-галечного состава, которые подвержены влиянию абразионных процессов и тектонической подвижности. Рельеф побережья характеризуется как равнинный аккумулятивный террасированный (Атлас, 1993).

Исследовались почвы в северной части побережья озера от полуострова Святой Нос до дельты реки Селенги в средней части. Разнообразие почвенного покрова побережья определяется литологическим фоном, обусловленный разной высотой уступов озерных террас, и микроклиматическими различиями, связанными с влиянием Байкала и температурными инверсиями.

Характер циркуляции атмосферы на восточном побережье, которое больше подвержено действиям северо-западных и юго-западных ветров и обилию осадков, чем на других береговых участках озера, способствует формированию буроземов. Они встречаются под смешанными преимущественно сосновыми лесами с богатым разнотравьем на щебнисто-суглинистых и суглинистых отложениях в предгорной полосе. Морфологические признаки в виде серогумусового горизонта или грубогумусового материала на поверхности с выраженной ореховато-комковатой структурой срединного горизонта позволяют отнести профили к типичному и грубогумусированному подтипам. В гумусовом горизонте реакция среды кислая, с глубиной переходит в слабокислую. Высокое содержание гумуса до 9 % резко снижается в иллювиальном горизонте до значения менее 1%. Гумидные условия и физико-химические процессы приводят к увеличению количества илистой фракции в метаморфическом горизонте. Содержание физической глины достигает 32-47 %. Преобладающая фракция крупной пыли составляет почти 40-50 % и более. Одним из

особенностей буроземов изученной территории является дифференциация профиля буроземов по илу, что в совокупности с микроморфологическими данными в виде накопления глинистого плазменного материала и натечных образований, возможно выделение глинисто-иллювирированного подтипа.

На участках побережья с открытыми заливами и бухтами, имеющих абразионные берега, формируются подзолы (район с. Максимиха). Побережья с низкими абразионно-аккумулятивными берегами, подвергшихся эоловое обработке, в районе населенных пунктов Усть-Баргузин, Турка, Горячинск заняты дерново-подзолами. Почвы залегают на песчаных отложениях под сосновыми рододендрово-зеленомошными типами леса. Общими особенностями почв является их формирование в условиях промывного водного режима и сильнокислой реакции среды верхних горизонтов. Они имеют оподзоленный горизонт мощностью 5-10 см, слабую оструктуренность почвенной массы и маломощную толщу всего профиля. Гранулометрический состав почв супесчаный-песчаный с максимальным содержанием илистой фракции 3%. По распределению ила и тонкой пыли отсутствующие явные признаки элювиально-иллювиальной дифференциации свидетельствуют о его низкой миграционной активности. По химическим свойствам почвы имеют однотипный характер распределения по содержанию гумуса, обменных катионов, гидролитической кислотности, показатели которых выше в органоаккумулятивных горизонтах. В иллювиальных горизонтах отмечается тенденция аккумуляции силикатных и несиликатных форм железа. Условия формирования почв обуславливают довольно активное внутрипочвенное выветривание и разрушение минералов, а также отсутствие железистых пленок на их поверхностях в подзолистом горизонте. Внутрипрофильные изменения в минералогическом составе незначительны, лишь заметно некоторое уменьшение неустойчивых минералов в верхних горизонтах. В иллювиальном горизонте обнаруживаются признаки альфегумусовой миграции, заключающейся в образовании кутан, и процесса партлювации в виде формирования пылеватых скелетан, несущие микроразнональный характер распределения. В составе подзолов выделены грубогумусированный и иллювиально-железистый подтипы, а также механически нарушенные варианты, относящиеся к турбированному подтипу.

В дельте р. Селенги в районе с. Сухая преобладают низкие аккумулятивные с абразионной обработкой берега. Здесь под смешанным сосново-лиственнично-березовым лесом на песчаных отложениях формируются дерново-подбуры. Их морфологический облик проявляется в слабой дифференциации профиля, буроватых или охристо-буроватых тонах окраски иллювиального горизонта, наличии охристых пятен и примазок. Они отличаются преимущественно песчаным или супесчаным гранулометрическим составом. Признаков текстурной дифференциации не обнаруживают. Профиль этих почв формируется в

результате развития обязательного, но в разной степени выраженного альфегумусового процесса в условиях кислой и слабокислой реакции среды. Одним из важных диагностических признаков для иллювиальных горизонтов является относительно повышенное содержание несиликатных и аморфных форм соединений железа. Здесь железо накапливается в результате нисходящей миграции подвижных органо-железистых соединений в условиях провальной миграции в виде комплексных соединений и возможно одновременно в результате железистого метаморфизма. На развитие альфегумусового процесса в этих почвах, указывают органо-железистые кутаны в иллювиальном горизонте этих почв. В подтиповом разнообразии диагностированы подтипы: иллювиально-железистые, турбированные.

В районе Лемасово в дельте Селенги участки побережья с низкими аккумулятивными берегами в понижениях рельефа заняты аллювиальными торфянисто-глеевыми почвами с типичным профилем. Они формируются под кустарниково-ивовой растительностью в условиях избыточного грунтового увлажнения. С поверхности имеют маломощную торфянистую толщу. Ниже залегает горизонт, содержащий прослойки оторфованного и песчаного материала, сменяющийся горизонтом оглеенного неоднородного аллювия. Близкое залегание грунтовых вод обуславливает присутствие в профиле признаков оглеения в виде сизых тонов окраски и рыже-охристых пятен гидроксидов железа и примазок. Минеральные горизонты имеют рыхлопесчаный гранулометрический состав. Анализ водной вытяжки показал кислую реакцию среды в органогенном горизонте, сменяющейся с глубиной на слабокислую. Содержание гумуса уменьшается с глубиной.

Таким образом, на территории исследования формируются почвы трех классификационных отделов: структурно-метаморфического, альфегумусового и аллювиального. Они представлены пятью типами: буроземами, дерново-подзолами, подзолами, дерново-подбурами и аллювиально-торфяно-глеевыми почвами. Сокращение площади эталонных почв связано с нарастающими темпами рекреационной деградации, строительством дорог и зон отдыха, а также усилением экзодинамических процессов, затоплением и активизацией заболачивания низменных участков побережья.

**В рамках задания №АААА-А 17-117011810038-7*

ЛИТЕРАТУРА:

Уфимцев Г.Ф., Потемкина Т.Г., Сквитина Т.М., Филинов И.А., Щетников А.А. Геометрический рисунок берегов оз. Байкал // География и природные ресурсы, 2009, №4. Стр.56-61.
Атлас «Байкал». М.: РАН СО, 1993. 160 с.

ПОЧВЫ ХВОЙНОГО ЛЕСА ЛЕУШИНСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ХМАО

А.А. БУТОРИН, И.В. ГРЕХОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень

Леушинское участковое лесничество расположено в западной части Кондинского муниципального района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Территория лесничества отнесена к таежной зоне Западно-Сибирского среднетаежного равнинного лесного района. В средней тайге среди почвообразующих пород распространены озерно-аллювиальные отложения (Хренов, 2002). Слабая дренированность территории, сильная обводненность и заболоченность определяют специфику почвообразования и преобладание в почвенном покрове гидроморфных почв. На приречных дренированных участках развивается подзолистый почвообразовательный процесс.

Цель исследований – описание почв хвойного леса Леушинского лесничества.

Лесистость лесничества составляет 52%, преобладают хвойные породы: сосна и ель. Суровый климат района обуславливает низкую производительность насаждений, в основном 4-5 классов бонитета. Рельеф территории лесничества равнинный, абсолютные высоты над уровнем моря 10-20 м. Наиболее распространены почвы болотного типа, залегающие на аллювиальных глинистых ледниковых наносах. Также большое распространение имеют почвы подзолистого типа, из которых большинство занимают песчаные и супесчаные возвышенности и гривы.

Объектом исследований был выбран елово-сосновый лес с примесью березы урочища Междуреченское. Почва дерново-слабоподзолистая. Верхний горизонт (A0) представляет собой слабооторфованную подстилку мощностью 6-8 см. Гумусово-элювиальный (дерновый) горизонт A1 мощностью 2-5 см, тёмно-серый, порошистой структуры, рыхлый, корни, средне суглинистый, переход резкий. Подзолистый горизонт A2 мощностью 7-10 см, белесовато светло серый, плитчатой структуры, рыхлый, в нижней части встречаются черно бурые вкрапления, корни, тяжелосуглинистый, переход ясный. Нижняя часть почвенного профиля белесая, бесструктурная, в сухом состоянии плотная, пористая, редко корни, тяжелосуглинистая. В слое почвы 0-20 см солевая вытяжка имеет кислую реакции – 2.3 ед. рН, гидролитическая кислотность составляет 6.3 мг-экв./100 г почвы.

ЛИТЕРАТУРА:

Хренов В.Я. Почвы Тюменской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. С. 43-45.

ФОРМЫ ГУМУСА В ПОЧВЕННЫХ КЛАССИФИКАЦИЯХ

М.И. ГЕРАСИМОВА¹, О.Г. ЧЕРТОВ², М.А. НАДПОРОЖСКАЯ³

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАН, г. Москва

² Бингенский политехнический университет, г. Бинген, Германия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

В почвоведении на фоне многочисленных аналитических исследований органического вещества (ОВ) почв сравнительно мало внимания уделяется морфологическим проявлениям процесса преобразования органических остатков и формирования верхних горизонтов профиля. Это относится как к диагностике органических и органо-минеральных горизонтов в современных почвенных классификациях, так и к таксономии системы ОВ почв. Система морфологических критериев положена в основу классификации «форм гумуса» (ФГ) – “humus forms” (Müller, 1879; Ramann, 1893; Kubiěna 1938; Тюрин, 1943; Wilde, 1958; Duchaufour, 1961; Чертов, 1981), которая особенно активно развивается в последние десятилетия (проект HUMUSICA, Zanella, Ascher-Jenull, 2018; Чертов, Надпорожская, 2018). Понятие ФГ, имея в основе диагностику по макро- и микроморфологическим чертам верхних горизонтов, по существу, отражает направленность процессов гумусообразования (стабилизации ОВ в профиле), минерализации ОВ, особенности фитоценозов. Изначально были выделены три ФГ: «грубый гумус (мор)» с медленным разложением опада и формированием подстилки; «мягкий гумус» (мульч) с быстрым разложением опада и формированием органо-минерального горизонта, и промежуточная форма «модер» (Ramann, 1893). Эта классическая триада наземных ФГ расширена к концу XX века до 5 (добавлены: *amphi* – особая форма модера лесов и редколесий аридной зоны, и *tangel* – специфическая форма грубого гумуса или модера горных почв на плотных карбонатных породах под хвойными лесами) с акцентом на роль педофауны и детализацией для почв Европы (проект HUMUSICA, Zanella et al., 2018). Однако использование ФГ в качестве диагностического элемента в базовых почвенных классификациях практически отсутствует.

В нашей стране работы по ФГ начаты И.В. Тюриным и В.В. Пономаревой в 1940-х, продолжены Н.Л. Благовидовым в 1960-х, в 1970-х – изучением ФГ лесных почв Северо-Запада (Чертов, 1981) как в морфолого-генетическом, так и в лесоводственном аспектах (Чертов, Надпорожская 2018).

Введение ФГ в почвенные классификации почти не обсуждалось, но *de facto* ФГ учитывались при картировании лесных почв (Чертов, 1981; Systematik..., 2006) и оценке лесных экосистем (Федорчук и др., 2005). В Международной классификации (WRB) ФГ не упоминаются, и морфологическая диагностика форм аккумуляции ОВ отсутствует. Выделено

5 органогенных и органо-минеральных горизонтов для любых почв и 2 горизонта для почв на вулканических пеплах. Среди 186 квалификаторов только 22 связаны с органическим веществом, причем в модификациях горизонта *histic*. Среди наиболее известных национальных почвенных классификаций выделяется французская *Référentiel pédologique*, где имеется 15 горизонтов, связанных с ОВ, более того, ФГ включены в диагностику почв. В «Китайской почвенной таксономии», с ее огромным набором почв от альпийских почв Тибета до центрально-азиатских пустынь, кроме обычных горизонтов *mollic* и *histic*, выделяются особые дернинные «*mattic*» горизонты в высокогорьях. В немецкой системе ФГ являются обязательным приложением к базовой классификации почв (Systematik, 2006). Европейскими исследователями была предпринята попытка восполнить этот пробел в WRB (Jabiol et al., 2013) предложением заменить горизонт О горизонтами OL, OF, OH с их диагностикой, которая уже была разработана для ФГ с учетом зоогенных и микогенных структур (Zanella et al., 2018).

Отсутствие спецификации ОВ в базовых классификациях почв на первый взгляд кажется странным, поскольку экологическая классификация почв, основанная на систематике морфологически различимых типов аккумуляции ОВ, известна с конца XIX века. Причиной выделения малого количества диагностических органических и органо-минеральных горизонтов может быть их «ненужность» при диагностике почв по дихотомическому ключу, где используются горизонты *histic*, *mollic*, *chernic*, *umbric*, а остальные 28 Реферативных почвенных групп идентифицируются по другим критериям.

В «Классификации и диагностике почв России» (КиДПР) диагностике почв, связанной с ОВ, уделено больше внимания. В варианте 2008 г. выделено 17 горизонтов, среди них собственно органических 5, но почти все их определения и диагностика требуют уточнений и дополнений. Например, возникают трудности в разграничении торфяно-подстилочного горизонта (O), гумусового слаборазвитого (W), особенно в техногенных и слаборазвитых почвах. Уточнение диагностики грубогумусового (AO) и серогумусового (AY) горизонтов может основываться на имеющихся больших наработках по ФГ лесных почв. Для уточнения диагностики темногумусового и предлагаемого черногумусового горизонтов может быть полезной информация о микростроении и педофауне мулля черноземов.

Для включения ФГ в КиДПР мы предлагаем обратиться к недостаточно используемому уровню рода. Будет полезным изменить его содержание, следовательно, и критерии выделения, отчасти возвращаясь к классификации 1977 г. (Герасимова, 2018). Среди критериев может быть временное состояние, эфемерность, непостоянство, фрагментарность локализации в профиле, что во многом соответствует критериям ФГ и их экологическим оценкам. Например, при первичной экогенетической сукцессии в лесах

умеренного пояса идет последовательная смена форм гумуса от маломощных дерновых (Dystric –Rhizo-Mor) и малогумусных (Dystric-Mor) к грубогумусным (Humi-Mor) и далее к модергумусным (Moder), а в конечном итоге к мулловым (Mull) почвам в коренных широколиственные лесах. При восстановлении лесной растительности после рубок на северо-западе России идет интенсивное развитие травяного напочвенного покрова с формированием дерновой формы гумуса, которая сменяется модергрубогумусной под хвойными молодняками или модергумусной под лиственными и далее в приспевающих и спелых смешанных лесах восстанавливается модергумусная почва (Чертов, Надпорожская, 2018).

Интеграция ФГ в КиДПП и WRB представляется концептуально и технически реальной, хотя, конечно, остаются терминологические трудности. Детализация диагностики органических и органоминеральных горизонтов может быть первым этапом этой работы. Классификационным плюсом ФГ является их достаточно надежная полевая диагностика, а также большой объем информации, но в основном по лесным почвам.

ЛИТЕРАТУРА:

- Герасимова М.И. Нужен ли уровень рода в классификации почв России? // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 95. С. 90-98. doi: 10.19047/0136-1694-2018-95-90-98
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Полевой определитель почв России. М.: Почв.ин-т им.В.В.Докучаева. 2008. 182 с.
- Тюрин И.В. К характеристике типов гумуса лесных почв // Почвоведение. 1943. № 1–2. С. 34–46.
- Федорчук В.Н., Нешатаев В.Ю., Кузнецова М.Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России: Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. 382 с.
- Чертов О.Г. Экология лесных земель. Л.: Наука, 1981. 192 с.
- Чертов О.Г., Надпорожская М.А. Формы гумуса лесных почв: концепции и классификации // Почвоведение. 2018. № 10. С.1202–1214.
- Duchaufour Ph. Précis de pedologie. Paris: Masson. 1961. 438 p.
- Jabiol B., Zanella A., Ponge J.-F., et al. A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO) // Geoderma. 2013. V. 192. P. 286–294.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 181p.
- Kubiěna W.L. Micropedology. Ames, Iowa: Collegiate Press Inc., 1938. 243 p.
- Müller P.E. Studier over skovjord, som bidrag til skovdyrkningens teori: om bögemuld og bögemor paa sand og ler // Tidsskrift for Skovbrug. 1879. № 3. P. 1–124.
- Ramann E. Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. Berlin: Springer. 1893. 479 S.
- Systematik der Humusformen. AG Humusformen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 2006. <http://www.humusformen.de>.
- Wilde S.A. Forest soils. N.Y.: Wiley & Sons, 1958. 537 p.
- Zanella A., Ascher-Jenull J. (Eds.) Humusica 1, 2 and 3 – Natural terrestrial Humus Systems // Special Issue, Appl. Soil Ecol. 2018. V. 122 Parts 1, 2, 3. P. 1–578.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПРОФИЛЯ ТАЁЖНЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ НА ТЕРРАСАХ РЕК СИБИРИ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЕ

Ю.А. ГОЛОВЛЕВА, П.В. КРАСИЛЬНИКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

В среднетаежной зоне в автоморфных позициях формируются специфические слабодифференцированные почвы: в Западной Сибири криометаморфические, а в Восточной — палевые, для которых можно выделить дифференцированные почвенные пары, сходные по остальным параметрам. Предполагается, что в результате дивергентной эволюции произошло расхождение типов из-за разницы в гидротермических режимах, зависящих от топографических, литологических и фитоценологических характеристик. Целью данной работы является уточнение специфики почвообразования, приводящей к дифференциации профиля почв.

Объектами исследования являются суглинистые почвы зоны средней тайги Западной и Восточной Сибири. Разрезы были заложены на Северо-Сосьвинской возвышенности, Аганском Увале, Юганско-Ларьеганской возвышенной террасе и на Приленском плато. Климат Западной Сибири умеренный континентальный, со среднегодовой температурой $-4,2^{\circ}\text{C}$, средней температурой января -20°C и июня 18°C . Годовое количество осадков составляет 580 мм. Почвообразующими породами являются эоловые отложения. Климат Восточной Сибири резко континентальный со среднегодовой температурой $-10,2^{\circ}\text{C}$, средней температура января $-38,6^{\circ}\text{C}$ и июля $19,5^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков составляет 238 мм. Почвообразующие породы суглинки, супеси, пески древнеаллювиального генезиса. Районы исследования относятся к зоне вечной мерзлоты.

Почвы Западной Сибири буроватого цвета, средней тяжелосуглинистого гранулометрического состава, уплотненные, с глинистыми и глинисто-гумусовыми кутанами, икряной структурой в иллювиальном горизонте, переходящей в шлировую; во влажном состоянии липкие и проявляют тиксотропные свойства. Почвы Восточной Сибири палевого цвета, с более легким гранулометрическим составом, глинисто-гумусовыми и карбонатными кутанами, шлировой структурой, часто сцементированную льдом в нижней части профиля. Дифференцированные почвенные пары в Западной Сибири характеризуются наличием фрагментарного горизонта E и сизыми тонами оглеения в нижней части профиля, а в Восточной — морфонами осолоделости и появлением уплотненного метаморфического горизонта.

От состава обменных катионов зависит пептизируемость и агрегированность почв [2]. Катион имеет мощный диффузный слой, что приводит к смещению частиц друг относительно друга под влиянием механических сил или с током просачивающейся воды и, следовательно, пептизации тонкодисперсной части почв. У катионов и — слабый диффузный слой, частицы находятся в связанном состоянии, в результате повышается степень агрегированности и водопрочность [1]. В изучаемых почвах Западной Сибири высокое содержание и , а в Центральной Якутии и .

По классификации WRB [3] почвы были отнесены к Cambisols и Alisol в Западной Сибири и Cryosols and Planosols в Центральной Якутии.

Как текстурно-дифференцированные, так и слабодифференцированные таёжные почвы Сибири на четвертичных отложениях являются достаточно развитыми. Состав обменных катионов и их совместное влияние приводит к разнице в дифференциации почвенного профиля за счет воздействия на илистую фракцию. Непосредственное влияние на почвообразование оказывает криогенез: как наличие многолетнемерзлых пород, так и циклы промерзания-протаивания за счет сезонного действия холода. Текстурно-дифференцированные суглинистые почвы могут формироваться на участках с большей теплообеспеченностью и более ранним протаиванием и характеризоваться промывным водным режимом практически в течение всего вегетационного периода.

**Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-17-01293 «Многоуровневые региональные почвенно-географические модели как основа устойчивого управления почвенными ресурсами».*

ЛИТЕРАТУРА:

- Воронин А.Д. Основы физики почв. Издательство: М.: МГУ Год: 1986. 244 с.
Орлов Д.С. Химия почв: учебник для студентов вузов 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Из-во Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, 1992. – 400 с.
IUSS working Group WRB. World reference base for soil resources 2014. In-ternational soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

ФИТОЛИТНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ПОД ШИРОКОЛИСТВЕННЫМИ ЛЕСАМИ

Е.Э. ДЕНИСОВА, А.О. МАКЕЕВ, Ф.Г. КУРБАНОВА

Факультет Почвоведения, МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Микропалеонтологические методы в данный момент являются неотъемлемой частью любого геоархеологического исследования. Неоспоримое преимущество этой группы методов в ее технической доступности, корректности и больших возможностях, особенно в области биоклиматических реконструкций, позволяющих судить о генезисе и эволюции почв. Объектом микропалеонтологического анализа являются биоморфы. Попадая в почву биоморфы и, в частности, фитоциты сохраняются долгое время, накапливаясь в верхних гумусовых горизонтах, и могут служить индикаторами произрастающей или произраставшей растительности (Бобров, 2002). Фитоциты – это кремниевые тела в растениях, формирующиеся внутри живых клеток, скапливающиеся в почвах после отмирания и разложения растений (Piperno, 1988). Вместе с тем фитоциты не так сильно разносятся ветром, как пыльца, и поэтому могут служить для более точного определения ареалов естественной растительности. Это определяет их роль и актуальность в почвенных микропалеонтологических исследованиях.

Фитолитный метод заключается в номенклатуре форм фитоцитов по первому международному ключу номенклатуры фитоцитов (Madella et al, 2005), последующем анализе спектров фитоцитов и определении типа растительного сообщества (Сперанская и др., 2018; Solomonova et al, 2019) по диагностическому ключу для определения растительного сообщества в соответствии с относительным содержанием морфотипов.

Целью данного исследования было определение условий почвообразования в лесной зоне на момент погребения в бронзовом веке.

В южной части лесной зоны (Чебоксарский район республики Чувашия) изучены почвы Тохмеевского курганного могильника, датируемого бронзовым веком. В геоботаническом районировании территория исследования относится к зоне широколиственных лесов. Хроноряд почв включает почву, погребенную под курганной насыпью абашевской культуры и фоновые (дневные) почвы, расположенные в непосредственной близости от кургана. Обе почвы расположены на залесенном водоразделе и сформированы на покровных суглинках. Обе почвы хроноряда характеризуются сходным строением профиля дерново-глубокоподзолистые легкосуглинистые почвы. Погребенная почва не несет следов срезания или нарушения.

Обработку почвенных образцов вели по классической методике (Гольева, 2001). Фитолитный анализ подтверждает ненарушенность поверхностных горизонтов, также как и отсутствие использования погребенной почвы для земледелия. Сравнение поверхностных фитолитных спектров гумусовых горизонтов погребенной бронзового века и фоновой почв позволяет сделать вывод о схожести современных и прошлых фитоценозов и их принадлежности к широколиственным лесам разной степени затененности. Признаков существования степных ценозов не обнаружено.

Соответственно, почвы южной полосы лесной зоны проходят стадию лесного педогенеза начиная с эпохи бронзы и по настоящее время.

**Исследование выполнено при поддержке РНФ, грант 16-17-10280-П.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Бобров А.А. Фитолитный анализ современных и погребенных почв курганных могильников Калмыкии // Могильник островной. Итоги комплексного исследования памятников археологии северо-западного Прикаспия. М., 2002. С. 135 -167.
- Гольева А.А. Фитолиты и их информационная роль при исследовании природных и археологических объектов. М.: 2001. 200 с.
- Сперанская Н.Ю., Соломонова М.Ю., Силантьева М.М., Гейнрих Ю.В., Блинников М.С. Фитолиты злаков Северного Алтая. Источник:https://www.researchgate.net/publication/324267738_Fitolithy_zlakov_Severnogo_Altai (2018) Дата обращения: 19.05.2019
- Madella M., Alexandre A., Ball T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. A. B-L, 2005p. 253–260.
- Piperno D. R. Phytolith analysis: An Archaeological and Geological Perspective. A P:1988. p. 120-124.
- Solomonova M.Y., Blinnikov M.S., Silantyeva M.M., Speranskaja N.Y. Influence of Moisture and Temperature Regimes on the Phytolith Assemblage Composition of Mountain Ecosystems of the Mid Latitudes: A Case Study From the Altay Mountains // Front. Ecol. Evol. 2019.V. 7 P.2.

НАУЧНЫЙ ВКЛАД ПРОФЕССОРА ЛЬВА ОСКАРОВИЧА КАРПАЧЕВСКОГО В РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Т.А. ЗУБКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» факультет почвоведения, г. Москва

Лесное почвоведение отражает специфику не только объекта исследования, но и специфику методов, специфику экологии и др. В научных работах профессора Л.О. Карпачевского по исследованию лесных почв выделяются два направления. Первое – почва как компонент биогеоценоза (закономерности формирования лесных почв, их генезиса, их связи с лесными фитоценозами, в том числе с парцеллярной структурой). Второе – просто характеристика лесных почв, которые часто служили моделями естественных процессов почвообразования.

Лев Оскарович показал уникальность Среднерусской полосы, сочетающей в себе лесной и травяные комплексы, и роль расширения площади землепользования в ее дальнейшем развитии (Карпачевский, 2012). Естественный микрорельеф в лесных биогеоценозах создается под воздействием растений и животных, в том числе вывалов деревьев (Карпачевский, 1977; Карпачевский и др., 1978; 1981, 2001). Выявленные неоднородность и пестрота лесного БГЦ (Карпачевский, 1977, 1981, 1999) показали трудности картирования лесных почв. В связи с этим, были предложены методические подходы и методики их исследования, включающие рекомендации по месту заложения разрезов с учетом эдификатора (Карпачевский и др., 1980). Содержание питательных элементов служит одним из показателей лесорастительных свойств (Зонн, Карпачевский, 1987). Л.О. Карпачевский руководил научными работами Н.П. Ореховой, Е.В. Турченковой, Е.В. Серовой по определению их годичной динамики (Турченкова, 1984). Им впервые опробован метод ионитов, позволяющий вести наблюдения непрерывно, в одном и том же месте и без существенного нарушения почвенного покрова. Формам железа в почве Лев Оскарович уделял повышенное внимание, поскольку железо определяет многие диагностические признаки почв и широко используется для характеристики почвообразовательного процесса (Добровольский и др., 1982; Бабанин и др., 1995; Ильина, Карпачевский, 1988). Электрическое сопротивление почв по профилю предлагается рассматривать как объективную генетическую характеристику почв (Карпачевский и др., 1983). Л.О. Карпачевский работал вместе с биологами и микробиологами по определению роли почвенной биоты в формировании лесной подстилки, гумуса и почвенной структуры. Была показана высокая прочность и водопрочность зоогенных микроагрегатов (Всеволодова-Перель и Карпачевский, 1987) и агрегатов (Манаенков и др., 1997). В работах его аспирантов почва оценивалась как место обитания патогенных микроорганизмов (Максименкова, Карпачевский, 1985; Евстигнеева и др., 2005). Предложен новый подход в классификации водного режима почв, основанный на учете разных типов увлажнения почвы в течение года (Ефремов и др., 1986). Выявлена дифференциация водного режима в разных частях лесополос на опушке и в центре (Карпачевский и др., 1989). Многолетние работы по горному почвообразованию выявили их специфику: зарастание каменистых россыпей, курумов, климатическая инверсия склонов гор, зверовые солонцы и др. (Карпачевский, 2012, Карпачевский и др., 2009). Л.О. Карпачевский (1997) показал, что почва – динамическое тело, а исследование динамики свойств позволяет определить необратимость процессов, эволюцию почв и др. (Карпачевский, 2005; Добровольский и др., 2010). Многолетняя динамика химического состава лизиметрических растворов в почвах Тверского заповедника показала, что они отражают состав вмещающего их почвенного горизонта (Карпачевский и др., 1998).

Лев Оскарович сформулировал цели и задачи нового раздела – молекулярного почвоведения (Зубкова, Карпачевский, 2001, 2004). Главная задача – не только оценка молекулярных процессов в почве, но и определение их роли в организации почвы и агрегатной структуры. Он считал, что минералы могут играть роль катализаторов в почвенных процессах по аналогии с их широким использованием в промышленном катализе. Было установлено, что в почве активными катализаторами окислительно-восстановительных реакций могут быть Fe-Mn новообразования (Зубкова, Карпачевский, 1979, 2001). Каталитическая активность глинистых минералов проявляется в укрупнении органических молекул на их поверхности, в формировании гумусоподобных веществ (Зубкова, Карпачевский, 2001). Имобилизованные почвенные ферменты не способны на такие реакции (Радюкина и др., 2001). Он ввел понятие компартментации в почвах (Карпачевский, Зубкова, 2005). Вопросы формирования почвенного гумуса интересовали многих ученых. Лев Оскарович вместе с Л.М. Носовой провели эксперименты по определению роли корней в гумусообразовании и установили отсутствие связей между численностью и массой корней разного диаметра с содержанием гумуса во вмещающем их горизонте (Карпачевский и др., 1996). Главным фактором почвообразования глубокогогумусных черноземов, а также почв в горных лесах, он считал аэральный принос мелкозема (Карпачевский и др., 1996; Зубкова, Ашинов, 2018). Научный вклад профессора Карпачевского в развитие лесного почвоведения велик. Он умел выделять самые важные задачи в научных направлениях. Уже более 60 лет в публикациях ссылаются, опираются, используют и развивают работы Л.О. Карпачевского, а его идеи нашли продолжение в работах его учеников и коллег.

ЛИТЕРАТУРА:

- Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Соколова Т.А., Ершова Л.С., Шоба С.А. Микроморфология и минералогия гидрооксидов железа в почвах и почвенных новообразованиях. // Доклады АН СССР. 1982. Том 264. №1. С. 221-224.
- Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А. Геосферы и педосфера. М.: ГЕОС, 2010. 190 с.
- Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Иванов А.В., Карпачевский Л.О., Морозов В.В. Магнетизм почв. М. Ярославль. 1995. 222 с.
- Всеволодова-Перель Т.С., Карпачевский Л.О. О роли сапрофагов в формировании лесной подстилки // Лесоведение. 1987. №1. С. 28-32.
- Евстигнеева А. С., Карпачевский Л. О., Тарасевич И. В. Почва как уникальный биотоп для выживания патогенных микроорганизмов (на примере коксииеллы Бернета) // «Окружающая среда и здоровье». Материалы научно-практической конференции молодых ученых и специалистов 19-22 мая 2005 г., Суздаль. С. 438-439.
- Зонн С.В., Карпачевский Л.О. Проблемы лесного почвоведения и современные методы лесорастительной оценки почв. //Почвоведение. 1987. №9. С. 6-15.
- Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: РУСАКИ, 2001. 296 с.
- Зубкова Т.А., Ашинов Ю.Н. О формировании глубокогогумусных почв (посвящается Л.О. Карпачевскому) // Агрохимический Вестник. 2018. №2. с.18-23
- Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Каталитическая активность почвы // Почвоведение. 1979. № 6. с. 115-122
- Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Молекулярное почвоведение. // Жизнь и безопасность. 2004. № 2-3а. с. 10-40.
- Ильина Л.С., Карпачевский Л.О. Формы соединений железа и их использование для диагностики бурых лесных почв Сихотэ-Алиня. //Почвоведение. 1988. №10. С. 16-26.
- Карпачевский Л.О. Динамика свойств почвы. М.: ГЕОС, 1997. 170 с.
- Карпачевский Л.О. Особенности формирования Среднерусской полосы // История и современность. 2012. №1, с. 149-156

- Карпачевский Л.О. Поздняков А.И., Строчков А.Я. Электрическое сопротивление некоторых почв гумидной зоны. //Почвоведение. 1983. №1. С. 51-63.
- Карпачевский Л.О. , Строганова М.Н. Микрорельеф – функция лесного биогеоценоза //Почвоведение. 1981. №5. С. 83-93.
- Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: МГУ, 1977. 312 с.
- Карпачевский Л.О. Физика поверхностных явлений в почве. М.: МГУ, 1985. 91 с.
- Карпачевский Л.О, Воронин А.Д., Дмитриев Е.А., Строганова М.Н., Шоба С.А. Почвенно-биогеоценозические исследования в лесных биогеоценозах. М.: МГУ, 1980. 160 с.
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Ильина Л.С. Экологические функции лесных почв. Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: ГЕОС, 1999. С. 156-162.
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Пройслер Т., Кеннел М., Гитл Г., Гончарук Н.Ю., Минаева Т.Ю. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков. Лесоведение. 1998. №1, с. 50-60
- Карпачевский Л.О. Почвообразование в горах Сихотэ-Алиня. М.: ГЕОС, 2012. 138 с.
- Карпачевский Л.О., Дмитриев Е.А., Скворцова Е.Б., Басевич В.Ф. Роль вывалов в формировании структуры почвенного покрова // Структура почвенного покрова и использование почвенных ресурсов. М.: Наука, 1978. С. 37-43
- Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981.
- Карпачевский Л.О., Боровинская Л.Б., Хайдапова Д.Д. особенности водного режима лесных полос в сухостепной зоне. // Почвоведение. 1989. № 3. С. 39-52.
- Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
- Карпачевский Л.О., Ильина Л.С., Родионова Е.Т. Андосоли как представители аномальных почв. // Почвоведение. 1996. №3. с. 348-350.
- Карпачевский Л.О., Алябина И.О., Захарихина Л.В., Макеев А.О., Маречек М.С., Радюкин А.Ю., Шоба С.А., Таргульян В.О. Почвы Камчатки. М.: ГЕОС, 2009. 224 с.
- Карпачевский Л.О., Кузнецов П.В., Мокрушина Д.Е., Зубкова Т.А. Анизотропность в супесчаных лесных почвах. // Почвоведение. 2001. № 6. с. 645-652
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Носова Л.М. Роль корней в почвообразовании // Экология и ноосферология. 1996. № 3-4
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А. Компартиментация в почвах. // Почвоведение. 2005. №1. С. 47-55.
- Ефремов Д.Ф., Карпачевский Л.О., Сапожников А.П., Воронин А.Д. О классификации водного режима почв и лесных местообитаний // Почвоведение. 1986. №3. С. 129-137.
- Максименкова И.А., Карпачевский Л.О. Характеристика почв природного очага лептоспирозов, псевдотуберкулеза и кишечного иерсиниоза. // Почвоведение. 1985. №10. С.107-115.
- Манаенков И.В., Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Механическая прочность почвенных агрегатов разной формы // Почвоведение. 1997. № 12. с. 1438-1444
- Радюкина Н.Л., Софьин А.В., Кудрявцева Н.Н., Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Романов В.И. Современные представления о биохимических процессах в почве // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2001. с. 13-19
- Турченкова Е.В. Динамика калия и фосфора в лесных почвах. Автореф. Дисс. кбн. 1984. М.: МГУ. 28 с.

ГЕНЕЗИС И КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В СТЕПНЫХ, ПУСТЫННЫХ ЗОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

В.М. КРЕТИНИН

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН),
г. Волгоград

Дискуссия почвоведов, географов о происхождении и передвижении лесных и степных зон и почв началась в конце XIX в. и продолжается в XX в. Ее материалы обобщены Н.Ф. Комаровым (Комаров, 1951). Указаны основные факторы почвообразования: климат, рельеф, антропогенный. Логично добавить биологический фактор. В.В. Докучаев (Докучаев,

1954) связывал образование тамбовских черноземов с лиственными лесами. Его предложение вместе с Н.М. Сибирцевым называть лесные почвы по древесным видам получил возражение отдельных лесных почвоведов (Мигунова, 1993).

В степной зоне на уровне типа выделены лугово-черноземные, луговато-черноземные, а в сухостепной зоне – лугово-каштановые и луговато-каштановые почвы. На этих почвах в условиях дополнительного поверхностного и грунтового стока вод произрастают на водоразделах, в лощинах на склонах водоразделов, в балках леса из древесных и кустарниковых видов (Кретинин, 2009, 2011).

Видные естествоиспытатели почвовед Н.А. Димо и ботаник Б.А. Келлер (Димо и др., 1907) описали южный форпост лесов России, байрачный дубовый лес в балке Чапурина Царицынского уезда. Их наблюдения послужили началом мониторинговых исследований (Коблова, 1977; Маттис, 1977).

В устьях балок при выклинивании грунтовых вод, продолжительного затопления, в ольшаниках формируются лесо-болотные почвы.

Составлены паспорта почв, описано морфологическое строение почвенных разрезов редких лесных почв России, определены свойства почв в Красной книге почв Волгоградской области (Кулик и др., 2017).

Почвообразующая роль лесных и кустарниковых видов выражается в формировании биогеоценотического слоя лесной подстилки, глубоком проникновении корневой системы, активизации круговорота и баланса азота, зольных элементов, секвестрации CO₂ (Кретинин, 2013).

И.Н. Большев (Большев, 1962) описал и изучил аллювиальные лугово-лесные почвы в Волго-Ахтубинской пойме, С.А. Владычинский (Владычинский, 1954) продолжил исследования этих почв. Э.А. Корнблум, Ф.И. Козловский (Корнблум и др., 1964) предложили для классификации буро-зернистые лугово-лесные пойменные почвы, ореховато-буро-зернистые-лугово-лесные и копролитно-буро-зернистые лесные почвы. При составлении Красной книги почв Астраханской области мы изучили и предлагаем редкие аллювиальные дерново-лесные и аллювиальные лугово-лесные и луговато-лесные почвы. Встречаются и аллювиальные лесные почвы, лишенные дернового слоя, травянистой растительности.

На днищах колков Арчединско-Донских песков формируются аллювиально-эоловые лугово-лесные дерново-песчаные почвы (Кретинин, 2017).

Под тугаями, пойменными лесами в аридных районах Средней Азии формируются аллювиальные лугово-лесные солончаковатые почвы (Трешкин, 2011).

В действующей классификации почв СССР 1977 г. (Классификация..., 1977) и обсуждаемой классификации почв 2004 г. (Классификация..., 2004) не приведены лесные почвы, распространенные в степных, пустынных зонах России, нуждающиеся в изучении генезиса, картографирования, мелиорации, лесоразведения.

Доля участия травянистой и лесной растительности в почвообразовании предлагаем выделять по степени проективного участия трав: менее 10% – лесная, 10-30% – луговато-лесная, более 30% – лугово-лесная.

Предлагаем для обсуждения внести в дополнение к классификации 1977 г. названия лесных почв степной и полупустынной зон РФ:

1. Тип – лесо-черноземный: а) подтипы лесо-черноземный, луговато-лесочерноземный, лугово-лесочерноземный, местоположение нагорные леса степной зоны (слабосточные водоразделы, склоны водоразделов, балок); б) подтип луговато-лесочерноземный намытый, местоположение днище балок степной зоны; в) подтип луговато-лесочерноземный неполно развитый, местоположение выходы на поверхность горных пород (вершины и склоны водоразделов).

2. Тип лесо-каштановый: а) подтипы лесо-каштановый, луговато-лесокаштановый, местоположение нагорные леса сухостепной и полупустынной зон (слабосточные водоразделы, склоны водоразделов, балок); б) подтип луговато-лесокаштановый намытый, местоположение днище балок сухостепной и полупустынной зон; в) подтип луговато-лесокаштановый неполно развитый, местоположение выходы на поверхность горных пород (вершины и склоны водоразделов).

3. Тип лесо-иловатно-болотный: подтип лесо-иловатно-болотный, местоположение ольшаники байрачных лесов.

4. Тип – солоди: подтип луговато-лесные солоди, местоположение: слабосточные и бессточные древнеаллювиальные понижения, суффозионные воронки.

5. Тип аллювиальные насыщенные слоистые лесные примитивные: подтип аллювиальные насыщенные слоистые лесные примитивные, местоположение прирусловая пойма, кратковременные и подтопляемые бугристые пески.

6. Тип аллювиальные насыщенные светлоцветные лесные: подтип аллювиальные насыщенные слоистые луговато-лесные, местоположение вершина и склоны грив центральной поймы.

7. Тип аллювиальные насыщенные слоистые темноцветные лесные: подтип аллювиальные насыщенные слоистые темно-цветные луговато-лесные, местоположение межгивные понижения центральной поймы.

8. Тип аллювиальные болотные иловато-глеевые лесные: подтип аллювиальные болотные иловато-глеевые лесные, местоположение понижения притеррасной поймы длительно затопляемые, ольшаники.

9. Тип аллювиально-эоловые лесные: подтип аллювиально-эоловые лугово-лесные дерново-песчаные, местоположение днище колков Арчединско-Донских песков.

ЛИТЕРАТУРА:

- Большев Н.Н. Почвы Волго-Ахтубинской поймы. Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской долины и дельты Волги. М.: МГУ, 1962. С. 57-117.
- Владыченский, С.А. Генезис почв Волго-Ахтубинской поймы и дельты. // Почвоведение. 1954. № 9. С. 34-45.
- Димо Н.А., Келлер Б.А. В области полупустыни: Почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии. Саратов: Сарат. губ. земство. почв. лаб., 1907. 578 с.
- Докучаев В.В. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз, 1954. 708 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235 с.
- Коблова М.Н. Нагорные и байрачные леса Урюпинского и Нехаевского районов. Природа Волгоградской области. Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1977. С. 43-46.
- Комаров Н.Ф. Этапы и факторы эволюции растительного покрова черноземных степей. М.: Географгиз, 1951. 328 с.
- Корнблум Э.А., Козловский Ф.Н. О классификации почв Волго-Ахтубинской поймы // Почвоведение. 1964. №2. С. 32-45.
- Кулик К. Н., Кретинин В. М., Рулёв А.С., Шишкунов В.М. Красная книга почв Волгоградской области. Волгоград, 2017. 224 с.
- Кретинин В.М. Агроресомелиорация почв. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2009. 198 с.
- Кретинин В.М. Естественные леса и почвы Нижнего Поволжья. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. 120 с.
- Кретинин В.М. Перенос, круговорот и баланс вещества в агролесоландшафтах по природным зонам РФ. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 152 с.
- Кретинин В.М. Проблема классификации лесных почв в степных и пустынных зонах Северной Евразии // Научно-агрономический журнал. 2017. № 2 (101) . С. 23–25.
- Маттис Г.Я. Байрачные леса полупустыни. Природа Волгоградской области. Волгоград: Нижнее-Волжское кн. изд-во, 1977. С. 49–106.
- Мигунова Е.С. Леса и лесные земли (количественная оценка взаимосвязей). М.: Экология, 1993. 363 с.
- Трешкин С.Е. Деградация тугаев Средней Азии и возможности их восстановления: Автореф. дис. канд. с.-х. наук: 06.03.03. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. 25 с.

ЭКОЛОГО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ КАРЕЛИИ

М.В. МЕДВЕДЕВА

Институт леса КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
Тел.: (8142)76-81-60;
E-mail: mariamed@mail.ru

Как известно, функции микробиоты почв сложны и многообразны. Одна из них – это трансформация органического вещества почв, осуществляя которую она участвует в поддержании гомеостаза всей биосферы. Микроорганизмы чуткие индикаторы природной среды, они способны быстро адаптироваться к природным условиям. В этой связи их можно использовать в качестве экспресс-оценки состояния почв, а также в долгосрочных

мониторинговых исследованиях. На основании данных о микробиологической активности почв можно делать прогноз развития лесных экосистем, находящихся в условиях антропогенного воздействия. Несмотря на значимость микробной компоненты лесных биогеоценозов в формировании устойчивости лесных экосистем к антропогенному прессу, микробиологические показатели почв не используются в полной мере для оценки состояния окружающей среды. Одной из причин этого является отсутствие единых критериев оценки состояния самого микробного сообщества почв ненарушенных и трансформированных лесных экосистем. Как известно, функциональные критерии оценки микробного сообщества: активность каталазы, фосфатазы, дыхание почв, целлюлозолитическая и протеолитическая активность, в мониторинговых исследованиях используются наиболее часто. Так, например, установлено, что на фоне аэротехногенного загрязнения происходит изменение данных показателей, что позволяет зонировать территорию по степени деградации. Структурные показатели качества микробного сообщества: видовое разнообразие, соотношение таксонов в микробном сообществе, используются реже. При этом последние являются надежным индикатором состояния природной среды, они, дополняя данные о функциональной активности микробного сообщества, позволяют создать его общую характеристику.

Организация мониторинга в Карелии является многоаспектной задачей. Это обусловлено тем, что на ее территории представлен широкий спектр типов почв, поэтому в каждом конкретном случае необходимо уточнять объекты мониторинга. Микробиологический мониторинг почв Карелии регулярно проводится начиная с середины 20 века и может быть охарактеризован тремя основными этапами. Первый этап был связан с исследованием микробных сообществ автоморфных почв, находящихся в условиях аэротехногенного загрязнения Костомукшского ГОКа, а также почв болотного типа, подверженных влиянию гидролесомелиорации. Второй этап был связан с изучением микробиоты почв, сформировавшихся на территории северо-среднетаежной подзоны Карелии. Именно на данном этапе впервые были изучены микробные сообщества почв низкогорных ландшафтов особо охраняемой природной территории НП «Паанаярви». Также в этот период активно изучаются почвы города. На примере почв города Петрозаводска установлен диапазон изменения численности микробного сообщества, выявлена его таксономическая структура. Под влиянием техногенного загрязнения происходит изменение биоразнообразия микробного сообщества, изменяется направленность трансформации органического вещества, что сказывается на плодородии почв.

Современный этап, третий, связан с расширением методов оценки микробного сообщества почв, использования узкоспецифичных методов идентификации микроорганизмов, установления индикаторных групп в микробном сообществе, созданием

базы данных. Перспективным и актуальным для мониторинговых исследований является создание карты биогенности почв Карелии, использование которой позволит поднять мониторинговые исследования на качественно новый уровень, стать надежным инструментом при проведении природоохранных мероприятий.

В настоящий момент впервые проведена комплексная экологическая оценка состояния подземной горной выработки «Рускеала», расположенной в Северном Приладожье. Изучены микробиологические показатели почв, сформировавшиеся на территории горнорудного промысла. Полученные данные можно использовать при проведении экологического мониторинга состояния подземных горных выработок Восточной Фенноскандии.

**Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН) № 0220-2017-0004.*

ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ ХВОЙНОГО ЛЕСА СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

П.С. НЕМКОВ, И.В. ГРЕХОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень

В лесостепной зоне юга Тюменской области северная лесостепь занимает 21% (Каретин, 1990). Основная часть подзоны представляет собой приподнятую равнину с высотными отметками 120-140 м. Залесенность около 43% территории. Леса представлены березой с примесью осины. Значительные площади занимают сосновые леса на песках. Структура почвенного покрова разнообразна и меняется в зависимости от геоморфологического положения. Все дренированные территории заняты преимущественно черноземами и серыми лесными почвами в сочетании с лугово-черноземными почвами. Крупными массивами залегают песчаные подзолы.

Цель исследований: описание дерново-подзолистой почвы соснового леса Заводоуковского лесничества.

На исследуемом участке произрастает сосна обыкновенная (возраст 95 лет) с наличием березы, рябины, осины. В наземном покрове разнотравная травянистая растительность: черничник, злаковые, хвощ, костяника, земляника.

Верхняя часть профиля (А0) дерново-подзолистой почвы представлена слабоотторфовой лесной подстилкой с дерниной, мощность ее не превышала 3 см.

Гумусово-элювиальный горизонт (A1) всего 7 см серого цвета, структура зернисто-пылеватая, рыхлый, с обилием корней древесной и травянистой растительности, легкосуглинистый, переход ярко выражен, резкий.

Нижележащий горизонт (A2, 10-50 см), имеет желтовато-белесую окраску, бесструктурный, рыхлый, с наличием корней древесной растительности, супесчаный, переход не ярко выражен, резкий.

Верхняя часть иллювиального горизонта (B₁, 50-87 см) выделяется своей светло бурой окраской, крупно-плитчатой структуры, слегка уплотнен, тонко пористый, с наличием обильной кремнеземистой присыпки, редко тонкие корни, супесчаный, переход ярко выражен по цвету и сложению.

Нижняя часть иллювиального горизонта (B₂, 87-132 см) темно-бурой окраски, крупно призматически-ореховатой структуры, плотная, с наличием кремнеземистой присыпки, ржаво охристой примазки, черно-бурых вкраплений, с наличием тонких пор, среднесуглинистая, переход не ярко выражен по цвету и сложению.

Материнская порода (C) имеет охристо-светло-бурю окраску, бесструктурная, плотная, с наличием черно бурых вкраплений и кремнезема присыпки, супесчаная.

Актуальная кислотность по горизонтам варьировала в пределах 5.4-6.5 ед. рН, обменная кислотность – 4.1-4.8 ед. рН. Гидролитическая кислотность резко изменялась в зависимости от горизонта: в верхнем 7.2 мг-экв./100 г почвы, в материнской породе – 1.8 мг-экв./100 г почвы. Преобладающей фракцией в пределах всего почвенного профиля являлся мелкий песок.

ЛИТЕРАТУРА:

Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука, СО, 1990. С. 260-261.

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ ВЛАЖНЫХ И ПОЛУЗАСУШЛИВЫХ СУБТРОПИКОВ АЗЕРБАЙДЖАНА И ИХ КОМПОНЕНТЫ

Н.И.ОРУДЖЕВА, М.П.БАБАЕВ

Институт почвоведения и агрохимии НАН Азербайджана, г. Баку

Почвы влажных субтропиков. Почвы влажных субтропиков приурочены к приморской низменности и поясу низких гор Ленкоранской области до гипсометрической высоты 500-600 м, выше черты субтропического климата постепенно нивелируются. Особенно активное участие в почвообразовании принимает лесная растительность,

обеспечивающая в условиях влажного субтропического климата интенсивный круговорот веществ и обогащающая почвы элементами зольного питания. Почвообразующими породами служат переотложенные продукты желтоземной коры выветривания, представленные преимущественно щебнистыми бескарбонатными суглинками. Желтоземно-подзолистые и желтоземно-глеевые почвы формируются на глинистых деллювиальных и деллювиально-пролювиальных отложениях, представленных переотложенными материалами выноса желтоземной коры выветривания вышестоящей предгорной части. Зона достаточно влажная ($KУ=1,5-1,6$), к северу отмечается некоторая засушливость климата ($KУ=0,7-0,8$). В северной части Ленкоранской области горно-лесные желтоземные почв постепенно переходят к коричневым горно-лесным почвам. В результате на территории выделяются следующие почвы (Мишустин, 1972; Салаев, 1991): горно-лесные желтоземные, горно-лесные желто-бурые, желтоземно-глеевые почвы, желтоземно-псевдоподзоленные почвы, горно-лесные желтоземные типичные почвы, горно-лесные желтоземные.

В желтоземно-глеевых почвах содержание гумуса в верхних горизонтах составляло 2,5-5,0 %, а в нижних-1,0-2,0 %. Соотношение C:N равно в верхних горизонтах 7-11, а в нижних 5-7, что доказывает высокую обеспеченность азотом гумуса, Сг.к.:Сф.к. 0,8-1,2, реакция почвенной среды кислая (водный-5,5-6,5; солевой-5,0-5,5), степень илистости 40-58 %, водопрочные агрегаты размером $>0,25$ мм-45-70%, емкость поглощения 25-30 мг-экв, Са:Mg 2-5; содержание валового железа 7-12%.

Растительность. Естественная растительность представлена субтропическими гирканскими лесами (железное дерево, каштановолиственный дуб, дзельква с хорошо развитым подлеском и травянистым покровом). Для прибрежной полосы характерно развитие водно-болотной растительности. Территория зоны влажных и полувлажных субтропиков в основном орошается и используется под цитрусовыми и овощными культурами, постепенно нарастает засушливость с юга на север и с востока на запад по мере возрастания высоты местности. В этих же направлениях лесная растительность сменяется травянистой, а лесной тип почвообразование дерновым.

Почвы полузасушливых субтропиков. Куба-Хачмасская зона расположена на северо-восточном склоне Главного Кавказского хребта. На северо-восточном направлении полоса предгорий постепенно снижается и переходит в Кубинскую наклонную равнину, которая начинается Прикаспийской наклонной полосой, постепенно суживающейся к юго-востоку.

Почвы. По данным авторов почвы Куба-Хачмаской зоны изменяются от побережья моря к горам (Алиев, 1964, 1994; Мишустин, 1972; Салаев, 1991]. Вдоль берега располагается узкая полоса песчаных почв. С северо-восточной части зоны, примыкая к берегу, сформировался значительный массив лугово-лесных почв. Самый верхний горный пояс

занимают субальпийские, лугово-степные, горно-луговые, дерновые и торфянистые почвы. Все почвы, от прибрежных песков до горно-лесных, тянутся с севера-запада на юго-восток узкими и длинными полосами. На низменности и в предгорьях лугово-коричневые, каштановые, бурые, пустынно-степные, луговые и лугово-сероземные почвы пересекаются вдоль рек полосами луговых почв.

Содержание гумуса аллювиально лугово-лесных почв в горизонте А (0-25 см) 2,0-3,5 %, запас гумуса 170-190 т/га, соотношение С:N 8-10, значительно шире, $C_{г.к.}:C_{ф.к.}$ 0,9-1,4. Карбонатность наблюдается по всему профилю гор. А 12-13%, гор.В 13-17%, емкость обмена 12-22 мг.экв. на 100 г почвы, Са:Mg 2,5-3,0, слабощелочная реакция по всему профилю (рН 8,0-8,4).

Растительность. Последовательно снизу-вверх характер растительного покрова Куба-Хачмасской зоны изменяется вдоль берега Каспийского моря, развита ксерофитная растительность (Алиев, 1964, 1994). На западе от морского побережья до высоты 500-600 м распространена полынная полупустынная растительность, сменяющаяся с увеличением высоты, лесной растительностью. Леса в нижней зоне благодаря обильному увлажнению пресными грунтовыми и поверхностными водами хорошо развиты. Почти вся северная половина низменности покрыта лиственными лесами, которые к югу редуют и исчезают. Леса низменности в основном состоят из граба, тополя, ольхи и других пород. Горные леса в основном дубово-грабовые, в средней горной зоне (начиная с высоты 900-1000 м) с примесью бука. В нижнем поясе наиболее распространен иберийский дуб, в верхних – восточный дуб. В лесах представлены листопадные кустарники (айва, алча, кизил, боярышник, мушмула, и др.). В предгорьях леса вытеснены плодовыми садами.

Биогенность. Почву населяет большое разнообразие микроорганизмов, которые, обладая высокой физиологической активностью, участвуют в разных биохимических процессах, в том числе в превращении органического вещества и минеральных компонентов почвы, способствуя их формированию с определенными генетическими свойствами (Алиев, 1978). Велика роль микроорганизмов в разрушении и в новообразовании почвенных минералов, в первичном почвообразовательном процессе, в разнообразных превращениях соединений фосфора, железа, микроэлементов и др. (Алиев, 1978). Микрофлору можно использовать в качестве показателя для определения направления течения различных процессов в почве (Войнова-Ройкова и др., 1986).

Почвы полусухих и влажных субтропиков существенно отличались по содержанию изучаемых микроорганизмов. Биогенность изучаемых почв характеризуется наибольшей численностью бактерий, актиномицетов, и малым количеством микроскопических грибов. В аллювиально лугово-лесных почвах от общей численности

микроорганизмов преимущество составляли бактерии и актиномицеты, количество же спорообразующих и микроскопических грибов было сравнительно меньше. Аллювиально лугово-лесная почва характеризовалась большей численностью бактерий, усваивающих органический азот (рост на МПА).

Численность микромицетов максимальна в желтоземно-глеевых почвах, нежели в аллювиально лугово-лесных почвах, вниз по профилю их численность резко снижается. Об интенсивности процессов минерализации можно судить по коэффициенту минерализации и иммобилизации (КАА/МПА). В почве широко представлены бактерии, источником питания которых служит минеральный азот. Увеличение численности микроорганизмов, особенно при возрастании численности бацилл и актиномицетов, является индикатором усиления мобилизационных процессов, в частности нитрификации. В аллювиально лугово-лесных почвах интенсивность процессов минерализации колебалась в пределах 0.21-0.28, в желтоземно-глеевых почвах – 0.25-0.29 (Оруджева, 2017; Orujova et al., 2014). Из данных видно, что в изучаемых почвах интенсивность минерализации невысокая. Основываясь на данных о составе микрофлоры можно заключить, что процессы минерализации растительных и животных остатков на изучаемых почвах происходят довольно низко.

ЛИТЕРАТУРА:

- Алиев С.А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почв. Баку: Элм, 1978, 252 с.
- Алиев Г.А. Лесные, лесостепные почвы северо-восточной части Большого Кавказа. Баку: Элм, 1964, 330 с.
- Алиев Г.А. Почвы Большого Кавказа. Баку: Элм, 1994, Том 2, 430 с.
- Войнова-Ройкова Ж., Ранков В., Ампова Г. Микроорганизмы и плодородие. Москва. Агропромиздат. 1986. с.120.
- Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972, 343 с.
- Оруджева Н.И. Биологическая оценка почв субтропической зоны Азербайджана в севооборотах. Сибирский Вестник Сельскохозяйственной Науки, 2017, № 1, с. 109-114.
- Салаев М.Э. Диагностика и классификация почв Азербайджана. Баку: Элм, 1991, 238 с.
- Orujova N.H., Babayev M.P. Biomorphogenetic Diagnostics of the Irrigative Soils Suitable for Vegetable in the Azerbaijan Subtropic Zone. New York, San Francisco, California 94105, USA, 2014, p. 285. www.sciencepublishinggroup.com

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ СПОР И МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ

Л.М. ПОЛЯНСКАЯ, И.В. КАЛИМОВА

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
E-mail: [lpolyanskaya@mail](mailto:lpolyanskaya@mail.ru)

В настоящее время наиболее полное описание почв и процессов, протекающих в них, невозможно без понимания и учета жизнедеятельности почвенной микробиоты. Состояние последней не подлежит адекватной оценке при отсутствии данных о численности и биомассе

микроорганизмов, в число которых входят грибы и бактерии, оказывающие большое влияние на почвенную среду. В последнее время учет длины грибного мицелия и численности спор производится с помощью метода люминесцентной микроскопии, имеющего ряд недостатков. Учет грибов проводится в почвенной суспензии объемом 0,04 мл, и уже априори в расчетах численности учитывается коэффициент 25. И, таким образом, реальное количество объектов на препаратах отличается от такового, предсказанного теоретически.

На кафедре биологии почв был модифицирован метод прямого учета грибов на фильтрах. Однако данные, полученные по этому методу (длина мицелия грибов) в различных типах почв невелика и составляла от 20 до 160 м/г (Мирчинк, 1988). В процессе фильтрации аликвоты в 10 мл большое количество почвы оседает на фильтре, закрывая гифы и споры грибов, приводя к их недоучету. Возникла проблема разработки метода, позволяющего учитывать длину мицелия и численность спор грибов при фильтрации меньшего объема суспензии (1 мл). Ранее нами был разработан метод учета численности бактерий по методу «каскадной» фильтрации и было показано, что численность бактерий, посчитанная по этому методу, и численность бактерий, посчитанная по методу люминесцентной микроскопии на стеклах примерно одинакова, а вот их биомасса различается. По методу люминесцентной микроскопии принимается размер одной клетки бактерии в 1 мкм^3 (Кожевин, 1989), а метод «каскадной» фильтрации учитывает все размеры клеток (Полянская и др. 2013), поэтому биомасса отличается от принятой ранее (метод люминесцентной микроскопии). При определении мицелия и спор грибов суспензию фильтровали через фильтр с размером пор 1,85 мкм. При просмотре в люминесцентный микроскоп не удалось увидеть ни целых гиф грибов, ни спор, а только разрушенный мицелий и кучки хитина. Стало ясно, что, по-видимому, дело в интенсивности фильтрации. С помощью ресурсов сети интернет был найден метод фильтрации при постоянной скорости, который также был назван методом «каскадной» фильтрации, прекрасно понимая, что каскад в этом случае состоит из одного фильтра.

В качестве основного приема предварительной обработки образцов для микробиологического анализа использовали ультразвуковое диспергирование на низкочастотном диспергаторе типа УЗДН-1 (22 кГц, 0,44 А, 2 мин) (Звягинцев, 1968).

Расчет количества клеток (мицелия) на 1 г почвы проводили по формуле (Пинчук и др., 2018). Было показано, что метод «каскадной» фильтрации по сравнению с фильтрацией суспензии под собственной тяжестью позволяет более полно учитывать и споры, и мицелий грибов.

Установлено, что при фильтрации суспензии под собственной тяжестью происходит адсорбция грибного мицелия на стенках фильтровальной установки, что занижает

получаемые результаты. Получены данные, что процентные соотношения биомасс грибов и бактерий, определенные по методу «каскадной» фильтрации, более точно отражают реальную картину в почвах, чем по методу люминесцентной микроскопии на стеклах, и составляют 20-30% для бактерий и 70-80% для грибов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Звягинцев Д.Г. Подготовка почв с помощью ультразвука к количественному учету микроорганизмов // Вест. МГУ, сер. биол. почв. 1968. № 3. С. 127–129.
- Мирчинк Т.Г. Почвенная микология: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 220 с.
- Кожевин П.А., Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Динамика развития различных микроорганизмов в почве // Микробиология. 1979. Т. 48. № 4. С. 490–494.
- Пинчук И.П., Полянская Л.М., Кириллова Н.П., Степанов А.Л. Особенности формирования микробного сообщества дерново-подзолистой почвы в процессе развития ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // Почвоведение. 2018. №12. С. 1498-1505.
- Полянская Л.М., Городничев Р.Б., Звягинцев Д.Г. Размеры клеток бактерий в почвах, определяемые методом «каскадной» фильтрации // Известия РАН. Сер. Биологическая. 2013. № 1. С. 144–151.
- Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Содержание микробной биомассы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. №6. С. 706-714.

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И АССИМИЛЯЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ РЯДУ ЮЖНОТАЕЖНЫХ БЕРЕЗНЯКОВ

С.М. РАЗГУЛИН

Институт лесоведения РАН, 143030 Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.

E-mail: root@ilan.ras.ru

Системные исследования дали возможность сравнения различных показателей азотного и углеродного цикла в березовых лесах Европейской России (Ярославская обл.). (Разгулин, 2017).

Количество минерализуемого органического азота почв березняков растет в экологическом ряду от низкого до высокопродуктивных биогеоценозов, с преобладанием аммонификации.

Влияние гидротермических условий на количество минерализованного азота почвы в различных лесах проявляется по-разному. В засушливый год в кисличнике снижается эмиссия CO₂ из почвы и, соответственно, минерализация азота, а в чернично-сфагновом типе дефицит влаги увеличивает эмиссионные потери CO₂ и минерализацию соединений азота. В целом, увеличение эмиссионных потерь углерода соответствует такому же увеличению минерализованного азота почвы как в кисличнике так и в чернично-сфагновом типе.

Минерализация азота в почве чернично-сфагнового березняка с угнетенными древостоями оказалась близка к значению этого параметра в кислично-черничном березняке. Однако исследованная часть почвенного профиля кислично-черничного березняка составляла

0–13 см, а не 0–20–21 см, как в двух других насаждениях. Если принять, что в недостающих 7 см элювиальной толщине на 1 см минерализуется столько же азота, сколько в исследованной части горизонта A_2 то получаем 83 кг N га^{-1} .

Приведение почвенного профиля к значениям 0–20 см, показывает, что продуктивность минерализации азота (N_m), продукция углекислого газа, отношения N_m к запасу общего азота в почве и листовой продукции, а также продукция аммиака возрастают с ростом продуктивности насаждения, обеспечивая наиболее экономный расход элемента в низкопродуктивных типах леса. У всех березняков эмиссия диоксида углерода за вегетацию превышает поступление углерода с листовым опадом. Дефицит углерода, выраженный в виде отношения этих процессов, возрастает от низкопродуктивных типов леса к средней высокопродуктивным. Во всех березняках на 1 г $C-CO_2$ эмиссии с поверхности почв минерализуется близкое количество органического азота.

В кислично-черничном березняке запас подстилки с мая по сентябрь уменьшается на $1248 \pm 233 \text{ г м}^{-2}$ сухой массы, $475 \pm 88 \text{ г C м}^{-2}$ в $C_{орг}$ и $16 \pm 2.5 \text{ г N м}^{-2}$ в $N_{орг}$. Эти потери фитоценоз восстанавливает в мае следующего года. Для сухой массы и $C_{орг}$ потери выполняются за счет травяного и листового опада и роста тонких корней в апреле-мае будущего года (McClougherty et al., 1982). При величине листового и травяного опада в $324 \pm 17 \text{ г м}^{-2}$ корневая масса будет составлять $(1248 \pm 233) - (324 \pm 17) = 924 \pm 233 \text{ г м}^{-2}$ в виде продукции и отпада тонких корней (Орлов., Петров-Спиридонов, 1986).

Значение этих процессов в органическом углероде составляет $(152 \pm 8) + (443 \pm 112) = 595 \pm 112 \text{ г C м}^{-2}$ и также компенсирует уменьшение запасов подстилки.

При содержании $N_{общ}$ в тонких корнях и опавших листьях, равном 0.67 и 0.71 % (Орлов, Петров-Спиридонов, 1989), и не выраженной реутилизации азота из тонких корней (Gordon, Jacskon, 2000) в почву поступает $8.7 \pm 1.6 \text{ г N м}^{-2}$. Это обеспечивает только половину затрат $N_{общ}$ подстилки за вегетацию. Таким образом, поступления наземного детрита и продукции тонких корней недостаточно для компенсации потерь азота в подстилке березняка.

ЛИТЕРАТУРА

- Орлов А.Я., Петров-Спиридонов А.А. Накопление и отпад фитомассы в кис-лично-черничном березняке и на сплошной вырубке // Лесоведение. 1986. № 5. С. 30-38.
- Орлов А.Я., Петров-Спиридонов А.А. Содержание азота в годичной продукции растений и отпаде в березняке и на вырубке // Лесоведение. 1989. № 5 С. 48-56.
- Разгулин С.М. Деструкция органического вещества почвы, минерализация и ассимиляция азота в экосистемах южной тайги. Теоретические и прикладные аспекты лесного почвоведения. Материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С.161-164.
- Gordon W., Jacskon R. Nutrient concentrations in fine roots // Ecology. 2000. V. 81. P. 275-280.
- McClougherty C., Aber J., Mellilo J. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems // Ecology. 1982. V.63. P. 1481-1490.

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В СУХОЙ СУБТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Ф.М.РАМАЗАНОВА

Институт Почвоведения и Агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г.Баку

В.В.Докучаев, как основоположник учения о факторах почвообразования, установил, что почва как особое природное тело формируется при тесном взаимодействии почвообразующих пород, географического положения, рельефа местности, климата, растительности (Белобров и др., 2004). Наряду с природными факторами выделяется еще один – хозяйственная деятельность человека, оказывающая как прямое, так и косвенное влияние на почвообразование, и почвенный покров (Кауричев, 1989).

Почвообразующая порода. Почвообразующие породы Гянджа-Казахского массива сухостепной субтропической зоны Азербайджана элювие известняков, известковые песчаники, юрские карбонатные сланцы, а в низменной части массива верхние четвертичные аллювиальные суглинки и суглинисто-супеси, часто обогащенные легкорастворимыми хлоридно-сульфатными солями (Салаев и др., 2004). Многообразные подтипы серо-коричневых почв распространены на больших абсолютных возвышенностях массива (Розанов, 1957, 1983).

Абшерон сложен осадочными образованиями палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем мощностью 8000–9000 м и отличаются высокой гипсоносностью и засоленностью (Голубятников, 1914). Гранулометрический состав – глинистый, суглинистый, суглинисто-песчаный, содержание физической глины и илистой фракции 10-42 и 21-78%, встречаются пресные и засоленные разности почв. Общая мощность гумусовых горизонтов – 12-81 см, вскипает с поверхности. Валовое количество CO_2 в верхних горизонтах 2,49 18,28%, с глубиной 25,90%, содержание гумуса варьирует (0,21 -1,57), а воднорастворимого гумуса – от 0,012 до 0,888 г/100 г почвы (Манафова и др., 2018).

Географическое положение. В геоморфологическом отношении Гянджа – Казахский массив сухостепной зоны расположен между $40^{\circ}41'41''20'$ с.ш. и $45^{\circ}05'47''00'$ в.д. в западной части межгорной Кура-Араксинской депрессии. Площадь – около 400 тыс.га. Весь массив орошается, целинных территорий осталось в небольшом количестве (Розанов, 1957).

Абшеронский полуостров находится между $40^{\circ}15'$ и $40^{\circ}35'$ с. ш. и $49^{\circ}40'$ и $50^{\circ}20'$ в. д. в сухой субтропической зоне постепенно суживаясь, далеко вдается в Каспийское море (Смирнов-Логинов, 1927). Имеет длину около 60 км, ширину до 30 км. На территории Абшерона находятся Гобустанские пастбища. Над ней возвышаются антиклинальные гряды и грязевые сопки выс. до 310 м.

Рельеф. Гянджа-Казахский массив относится к центральной степной сухой субтропической зоне. Рельеф массива разделяется на две геоморфологические области: 1. область преобладания денудационных форм рельефа и 2. область преобладания аккумулятивных форм рельефа. Массив обширная, наклонная на северо-северо-восток, слегка волнистая пролювиально-аллювиальная равнина, с приближением к предгорьям переходящую в подгорную наклонную равнину.

Рельеф Абшерона (полупустынная сухая субтропическая зона) – холмистый и состоит из предгорных равнин и низких гор. По рельефу полуостров разделен на две части – большую западную, гористую, с высотами до 400 м над ур.м. и меньшую восточную, равнинную, с наибольшей высотой в 34 метра (Бабаев и др., 2019).

Гидрография. В Гянджа-Казахском массиве межень в бассейнах р. Акстафачай составляет 110-160 дней, доля летне-осеннего меженного стока ее составляет 16-22%. Средний годовой расход около 9,5 м³/сек (Иманов, 2016). Средний годовой расход основных источников орошения в массиве 38,2 м³/сек – в 10 раз ниже среднегодового расхода р.Куры. Суммарный годовой сток рек и речек массива -около 1,16 км³. Воды горных рек массива слабо минерализованы – (1 г/л) и колеблется от 0,27 г/л (р.Гянджа-чай) до 0,72 г/л (р.Ниджа - су). Грунтовые воды залегают на значительной глубине.

Абшерон самая засушливая часть изучаемого региона. Речная сеть негустая; через территорию протекают рр.Сумгаит-чай и Джейранкечмэз, Самур-Абшеронский и Абшеронский каналы. Часть рек не имеет постоянного стока и летом пересыхает. За счет дождей формируется 78-79% стока этих рек, доля подземного питания в стоке от 2 до 10%. Продолжительность отсутствия стока на водотоках рек в теплый сезон 280 дней, в холодный 106 дней и они отличаются очень низкими модулями годового стока (модуль 0,14 -1,12 л/с·км²) (Рустамов, 1986; Иманов, 2016). Абшерон край соленых озёр (их около 40).

Климат. В Гянджа-Казахском массиве сумма активных температур воздуха $>5^{\circ}\text{C}$ составляет 3600-4300⁰С, а $t_{\text{возд.}}^0 >10^{\circ}\text{C}$ -3344-4472⁰С; суммарная радиация -122,5-128,5 ккал/см²; радиационный баланс– 45-50 ккал/см²; КУ0,38; средняя скорость ветра -1,3 м/сек; $t_{\text{возд.}} >10^{\circ}\text{C}$ – 240-300 дней; $t_{\text{почвы}} >5^{\circ}\text{C}$ – 270-330 дней (Насиев и др., 1977).

Располагаясь на одной широте с Грецией и Италией, Абшерон отличается более высокой среднегодовой температурой и меньшим количеством осадков. В летние месяцы температура воздуха достигает 35-40⁰С. По числу ясных дней (264) Абшерон занимает первое место на Кавказе. Иногда выпадает снег. По количеству осадков Абшерон занимает последнее место на Кавказе (от 180 мм до 322 мм) – в основном в декабре, январе и октябре, а летом почти не бывает дождя. Часто дуют северный (хазри) и южный (гилавар) ветры. Скорость северного ветра часто достигает до 35-40м/сек и даже выше. Такие ветры способны

переносить минеральные частицы с диаметром до 1 мм и более крупных частиц и вызывать дефляцию почв.

Биологический фактор. В Гянджа-Казахском массиве на предгорьях распространены полынно-бородачевые группировки: полынь (*Artemisia Meyeriana*), бородач (*Andropogon ischaetum*), различные эфемероиды (*Poa bulbosa*), держи-дерева (*Paliurus asuleatus*). Выше эта группировка переходит в бородачевую полустепь или сухостепь. Посевы культурной растительности (хлопчатник, зерновые) засорены пальчаткой (*Cunodon dactylon*), вьюнком (*Convolvulus arvensis*), верблюдкой (*Alchagi pseudoalchagi*). Тип растительной ассоциации определяет объем, скорость, химизм биологического круговорота. Флористический состав массива обеспечен азотом, в круговорот привлекают больше Ca, Mg, N, P₂O₅ и K₂O, чем растительные формации полупустынь. Минерализации растительных остатков проходит в течение года (Клебанович, 2012).

На Абшеронском полуострове ландшафты преимущественно полупустынного и сухого степного типа. Биоразнообразие растительного покрова полуострова есть результат его сложного рельефа (Музейбов, 2011; Рамазанова, 2013). Основные зональные типы растительности пустынные, полупустынные и сухостепные (доминирующие ветвистая петросимония (*Petrosimonia Brachiata*), мятлик луковичный (*Poa bulbosae Sp/pl*), гамантус (*Chamanthus pilosus*), а на впадинах и засоленных почвах – караган (*Salsola dendroides*), генгиз (*Salsola nodulosa*), жирная солянка (*Salsola crassa*) и др. Злаковые и эфемеровые культуры растут и развиваются ранней весной, за весенний период стремительно отцветают, плодоносят, сухим и жарким летом полупустыня превращается в мертвую территорию, и вновь оживают в осенний и зимний периоды. На солончаках наблюдаются группировки галофитов (поташник, сарсазон). Весной преобладали солянковая, полынная и чальная растительность. В растениях накапливаются около 5% зольных элементов – Ca, Mg, K, Na, S, Cl и др. (65-70 хим. элементов). Бобовые культуры больше накапливали Ca, Mg, N, а злаковые – P и кремнезема. Полынные полупустынные формации с растительными остатками и корневой системой в биологический круговорот вовлекали больше Ca, Mg, N, P₂O₅ и K₂O. Минерализации растительных остатков проходили в основном в весенне-осенний периоды. Летом из-за жары и сухости растительный покров почти полностью высох. Немаловажным биологическим фактором почвообразовательного процесса являются животные и микроорганизмы. Беспозвоночные животные перерабатывали органические остатки до более простых соединений, разрыхляли и перемешивали почвенный мелкозем, особенно в верхних слоях, обогащали почву своими экскрементами. Численность микроорганизмов в почве зависит от типа почв, климата, растительного покрова, количества органического вещества почв. Их количество в 1 г почвы колебался от миллионов до миллиардов особей. Масса

микроорганизмов составляли от 3 до 8 т/га, или около 1–2 т/га сухого вещества (Бабаев и др., 2019). Биологический круговорот веществ характеризуется интенсивностью (скорость разложения опада) и емкостью круговорота (Аношко, 2013).

Антропогенный фактор. Под воздействием антропогенных факторов почвенный покров Абшерона (серо-бурые почвы) в значительной степени трансформирован, чем в Гянджа-Казахском массиве (темные серо-коричневые почвы), который выражен снижением уровня гумуса (на 1,0-1,7%). Пастбищная деградация почвенного покрова Абшерона и Гянджа-Казахского массива происходила при перезагрузке пастбы скота, где поверхность почвы вытаптывается, распыляется и выносится ветром даже при скорости в 2-6 м/сек. В верхних горизонтах почв отмечено повышение количества легкорастворимых солей и карбонатов. Последствия антропогенных нагрузок на почвенный покров данных территорий усиливаются еще природообусловленными факторами (деградационные процессы: затопление, обсыхание, дефляция, засоление, водная эрозия). Из-за разработки и эксплуатации нефтяных месторождений на Абшероне происходит нефтехимическое загрязнение, где глубина проникновения нефти достигает 55-67 см и этим почвам характерны вторичное засоление, которое вызваны содержанием в нефтяной эмульсии большого количества хлорида натрия. При орошении в темных серо-коричневых и серо-бурых почвах отмечена растянутость гумусового горизонта (на 33-45 %) с сопровождением снижения количества гумуса в верхних горизонтах (27-48% от исходного показателя) и повышением на 37-55% гумусового горизонта в нижней части профиля. Также при орошении происходит выщелачивание верхних горизонтов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Аношко В. С. История и методология почвоведения/ Учеб пособие. Минск. : Высш. шк., 2013, 269с.
- Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М., Наджафова С.И., Гурбанов Э.А. Почвы Азербайджанской Республики (Орошаемые почвы Кура-Араксинской низменности и их производительная способность). М.: «LAMBERT», 2019. 284 с.
- Белобров В. П., Замотаев И. В., Овечкин С. В. География почв с основами почвоведения: Учеб. пособие для студ. пед. вузов. М.: Изд-во «Академия», 2004. 352 с.
- Голубятников Д.В.Тр.геологического Комитета. Баку. вып.106, 1914, С.122.
- Иманов Ф. А. Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне р. Куры. Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016.164 с.
- Кауричев И.С. Почвоведение М.: Агропромиздат, 1989.719с
- Клебанович Н.В. Почвоведение и земельные ресурсы: курс лекций. Новополоцк: ПГУ, 2012. 340с.
- Манафова Ф. А Бабаева Р. Ф. Влияние различных экологических факторов природной среды на структуру почвенного покрова Апшерона // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 6. С. 153-169.
<http://www.bulletennauki.com>.
- Муσειбов М.А. Ландшафты Азербайджанской Республики. Баку: БГУ, 2011, 138 с.
- Рамазанова Ф.М. Роль стерне-корневых остатков кормовых культур в современном почвообразовательном процессе // Ж.Почвоведения и Агрохимия. Баку. 2013. т.21, №1, С. 78-82.
- Розанов А.Н., Кондорская Н.И. Почвенно-мелиоративные условия Кировабад-Казахского массива. Труды Почвенного Института им. В.В.Докучаева. Л.: 1957.Том L11. С.5-122
- Розанов Б. Г. Морфология почв. М.: Изд-во Московского ун-та, 1983, 320 с.
- Рустамов С.Г., Гашгай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку.: «Елм», 1986. 132 с.
- Салаев М.Э., Бабаев М.П., Джафарова Ч.М., Гасанов В.Г. Морфогенетические профили почв Азербайджана. Баку : Элм, 2004. 202 с

Смирнов-Логинов В.П. Почвы Апшеронского полуострова // Матер. по изучению физико-химических особенностей почво-грунтов Бакинского уезда. Баку. : Издание Земотдела Баксовета. Вып 1. 1927. 106 с.
Насиев Н.Ә., Раһимов V.Ә. Azərbaycan SSR inzibati rayonlarının iglim səcijjəsi. Səpfi Kitabı. Bakı.: "Elm", 1977. 200 с

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОЧВ

С. П. РАСПОПИНА

Харьковский национальный аграрный университет имени В. В. Докучаева,
г. Харьков, Украина

Рациональное использование земельных ресурсов имеет важное значение для национальной экономики Украины, обладающей огромным резервом плодородных почв (8% мировых запасов черноземов), однако, более 1.8% ее земель деградировано вследствие самого высокого в мире уровня распаханности территории (57%). Одним из наиболее эффективных способов замедления и предупреждения дальнейшей деградации почвенного покрова является его приведение к экологически устойчивому состоянию, что возможно путем изъятия из обработки малопродуктивной пашни с последующей ее трансформацией в природные, в частности, лесные угодья. Украина – малолесистое государство с фактическим уровнем лесистости 15.9% при нормативном – 20%, для достижения которого необходимо облесить около 2.5 млн га малопродуктивных земель разных видов. Учитывая разнообразие, низкую продуктивность, продолжительную сельскохозяйственную эксплуатацию этих земель, их облесению должна предшествовать дифференцированная лесорастительная оценка.

Оценка потенциала земель в лесном секторе Украины проводится на лесотипологической платформе методом фитоиндикации, суть которого отражена в классификационной модели лесов и лесных местообитаний – эдафической сетке Алексева – Погребняка, при этом основными индикаторами служат видовой состав и бонитет древостоев (Погребняк, 1955). Безусловными преимуществами этого метода являются высокая лесохозяйственная ценность, простота использования, незначительная трудоемкость и себестоимость, а основными недостатками – субъективизм при определении типов лесорастительных условий (ТЛУ) и типов леса, сложность применения на нелесных территориях и в зонах. Следует также иметь в виду, что бонитет – это лишь следствие конкретного уровня лесорастительного потенциала почвы и не объясняет, какими именно ее свойствами он обусловлен, что важно знать в аспекте эффективного влияния на плодородие почвы. Кроме того, в Украине коренных природных лесов (пралесов), показатели которых и

есть наиболее объективными индикаторами уровня лесопроизводительности местообитаний, по оценкам экспертов осталось 16–35 тыс. га, большинство из них сохранилось в Карпатах. Таксационные характеристики искусственных лесов, доля которых в лесном фонде государства больше половины, могут существенно отличаться от характеристик коренных лесов, в частности, при несовершенной системе ведения лесного хозяйства на фоне глобального изменения климата. Поэтому их использование в качестве индикаторов не вполне обосновано, так как в этом случае мы оцениваем не естественное плодородие земель, а его природно-антропогенную составляющую. Таким образом, в условиях резкого сокращения площади пралесов и необходимости облесения малопродуктивной пашни, оценка лесопродуктивности почв методом фитоиндикации усложняется, в то время как на первый план выходит их прямая оценка – непосредственно по свойствам и показателям почвы. Однако использование прямого метода предполагает наличие пакета маркеров лесорастительного потенциала различных типов почв, разработка которого и стала целью наших исследований.

Методология исследований базируется на основополагающих принципах украинской лесоводственно-экологической типологии П. С. Погребняка – Д. В. Воробьева, а именно – системном подходе к изучению лесного сообщества как функционального единства его биотических и абиотических компонентов, а также – на фундаментальных положениях почвоведения В. В. Докучаева относительно закономерности взаимосвязей в системе «почва – факторы почвообразования».

Руководствуясь основными понятиями сравнительной экологии по закладке экологических рядов, лесорастительный потенциал почв в зонах естественного распространения лесов (Полесье, Лесостепь) определяли в идентичных по влажности (свежих) условиях. При этом показатели определенного типа почвы под средневозрастными древостоями различной продуктивности сопоставляли с высокопродуктивными (класс бонитета I и выше). Лесопригодность почв очень сухих и сухих степных местообитаний оценивали, сравнивая их показатели под искусственными лесными насаждениями различного санитарного состояния. За маркеры лесорастительной оценки почвы принимали такие ее показатели, которые имели тесную корреляцию с высотой древостоев в 80-летнем возрасте. К качественному составу маркеров выдвигали следующие требования: компактность, информативность, устойчивость к воздействию внешних факторов, простота определения. Пакет маркеров (при довольно подобном составе) для определенных условий содержит специфические показатели почвы, в тоже время один и тот же маркер в разных ТЛУ имеет разные оптимальные параметры.

Регион исследований по лесотипологическому районированию (Остапенко, 2003) относится к области влажного умеренно теплого климата (влажный груд – $3d$), свежего умеренно теплого климата (свежий груд – $2d$), сухого относительно теплого климата (сухая загрудовая область – $1e$), очень сухого теплого климата (очень сухая загрудовая область – $0f$) и охватывает все природные зоны равнинной части Украины: Полесье, Левобережную Лесостепь, Левобережную Северную Степь и Южную Степь. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами на флювиогляциальных песках, дерновыми оподзоленными на древнеаллювиальных песках, темно-серыми оподзоленными на лессах, черноземами южными карбонатными неполноразвитыми на элювии плотных известняков и техноземами после добычи ракушечника открытым способом.

Пакет маркеров лесорастительного потенциала для почв легкого гранулометрического состава (песчаных и супесчаных) свежих местообитаний включает такие показатели: содержание частиц физической глины, мощность гумусированной части профиля и общее содержание K_2O . Увеличение их количественных значений приводит к повышению плодородия эдафотопы в трофогенном ряду *бор – суборь – сугрудок*. Пакет маркеров для оценки тяжелых (тяжелосуглинистых – глинистых) почв оподзоленной группы грудовых местообитаний состоит из таких показателей: мощность гумусированной части профиля, содержание илистой фракции, обменных катионов Ca, Mg, K и их соотношение. Производительность дубрав Слобожанского лесотипологического района ограничивается засолением лессовых пород соединениями Mg и высоким (> 31%) содержанием илистой фракции в зоне ризосферы. Маркером лесопригодности неполноразвитых карбонатных почв на плотных известняковых породах является глубина залегания плиты известняков от дневной поверхности. Создание массивных лесонасаждений в условиях сухого климата на почвах с мощностью профиля менее 30 см, которым не угрожают эрозионные процессы, неэффективно и нерационально. Почвы и техноземы с такими параметрами рекомендовано относить к категории нелесопригодных в случаях, не предусматривающих их мелиорацию (глубокое рыхление с разрушением плотной породы, насыпной слой почвы и т.д.). При залегании плотной породы от 30 до 45 см они являются лесопригодными в пределах ТЛУ C_0, C_1 (местами – B_0, B_1), а глубже 45 см – $C_0, C_1 (D_0, D_1)$.

Создание лесов (как на лесных, так и разных видах малопродуктивных земель, ранее не занятых лесной растительностью) на лесотипологической основе с применением пакета маркеров лесорастительного потенциала почв, является одним из наиболее перспективных и эффективных методологических подходов, способствующих рациональному использованию земель, повышению уровня лесистости территории Украины, а в итоге – оптимизации

структуры ее земельного фонда, тем самым, предупреждая дальнейшую деградацию почвенного покрова.

ЛИТЕРАТУРА:

Остапенко Б. Ф. Типи лісу рівнинної території України // Науковий вісник УкрДЛТУ. 2003. Вип. 13.3. С. 27-42.
Погребняк П. С. Основы лесной типологии. К.: АН СССР, 1955. 456 с.

ЦИФРОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

В.А. РОЖКОВ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАН, г. Москва

Важнейшими проблемами мирового почвоведения являются классификации почв, считающиеся философией и языком науки. Однако существующие разнообразные структуры, описывающие национальные и международные множества почв, строго говоря, не являются классификациями. Это не более чем списки почвенных названий, расположенных в некотором порядке: по природными зонами, растительности, сериям и др. Дальнейшее исследование таких структур направлено на поиск новых почв, дополнительных показателей, и уточнение интервалов их значений. Однако не используются необходимые атрибуты научной концепции классификаций: показателей сходства различий почв, оценок информативности признаков, критериев качества и сравнения классификаций, формальных правил распознавания новых почв и др. Тем не менее такие списки совершенно необходимы для представления о реальном разнообразии почвенных профилей и учета мнений разных ученых и практиков, а их цифровая классификация является дополнением и завершением традиционных построений. Методы численной классификации (многомерной статистики и кластер-анализа) позволяют решить эти задачи. Результатом их применения станут «цифровые» классификация почв.

В современной классиологии сформировалось представление о двойственности понятия *классификации* (Рожков, 2014): мерономия членение объектов, позволяющее установить их сходство по идентичности частей (меронов) и структуру их устойчивых, характерных сочетаний (архетипа). Важно, что отношение внутри архетипа это отношения между частью и целым в объекте (*мерономическая* классификация), а в *таксономической* классификации – это отношения объекта их множества, т.е. система непересекающихся классов или классов эквивалентности. Пока решены вопросы формализации лишь таксономического подхода.

Не детализируя алгоритмы, можно отметить, что при построении *дендрограмм* в качестве меры сходства почвенных объектов использована экспоненциальная функция эвклидова расстояния значений признаков с нормировкой на их размах. Взвешенный парно-групповой критерий принят за основу агломеративной группировки объектов.

Разделительная кластеризация используется для построения *ординатной* группировки. Она осуществляется на заданное число классов или до достижения максимального *критерия качества* разделения. Сечение дендрограммы на заданном уровне сходства также в результате дает разделительную группировку. Визуализация сходства классов объектов (групп, таксонов) осуществляется *дендрографом*

Из многообразия почвенных признаков отбираются такие, которые имеют непосредственное отношение к поставленной цели и наилучшим образом отражают связанные с ней представления. Описываются наиболее апробированные и доступные методы оценок (Рожков, 2018) для создания систем информативности признаков (СИП). Почвы должны быть представлены признаками в одинаковых шкалах. Из многообразия почвенных признаков отбираются такие, которые имеют непосредственное отношение к поставленной цели и наилучшим образом отражают связанные с ней представления.

В.Л. Кожара (1982), справедливо отмечал, что качество создаваемых специалистами классификаций выявляется только по истечении нередко очень большого времени, а необходимо априори оценивать качество классификации, то есть судить о ее эффективности до ее использования. Такая возможность найдена, и качество ординатных классификаций может оцениваться по 6 критериям. Наиболее распространенным из них является отношение среднего внутриклассового сходства объектов к межклассовому: чем оно больше, тем более четкое разделение объектов на классы (Рожков, 2011). По такому критерию, что в классификация пойменных почв Г.В. Добровольского (1968) в большей степени согласуется с компьютерной, чем с классификацией В.И. Шрага (1969).

На примере фрагментов Классификаций СССР (1977), США и ФАО предложено проводить оценку их *совместимости* (Рожков, 2011). В пространстве 64 выбранных признаков построена дендрограмма сходства их почвенных таксонов, демонстрирующая сходства структур классификаций.

Классифицирование новых объектов по системе *линейных дискриминантных функций* осуществляется вычислением проекций по каждой и отнесением объекта к тому из классов, в который объект попадает чаще других (метод голосования). Классифицирование объектов может также производиться по сходству с объектами обучающих классов: по близости с ближайшим соседом, средним сходством со всеми объектами классов (голотип).

К настоящему времени подготовлены и апробированы все необходимые программные модули для выполнения всех требующихся расчетов при создании таксономической классификации почв. Иначе говоря, созданы средства для построения цифровых классификаций любого назначения.

Исходными данными при этом являются списки почв традиционных классификаций, представленных их описаниями в одной из существующих шкал признаков.

Ограничениями в использовании предлагаемого мета-алгоритма построения и анализа почвенных классификаций, главным образом состоят в следующем:

- решений о согласовании целей классификации информативных признаков
- выбор признаков в одной шкале
- согласовать таксономические уровни строящихся и сравниваемых классификаций.

ЛИТЕРАТУРА:

- Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М: Изд-во МГУ, 1968, -295 с.
- Кожара В.Л. Функции классификаций // Теория классификаций и анализ данных. Ч. I. Новосибирск, 1982. С.
- Рожков В.А. Формальный аппарат классификации почв // Почвоведение. 2011. № 12 с. 1411-1424. (DOI) 10.1134/S1064229311120106
- Рожков В.А. Дуализм основных понятий классификации почв // Почвоведение. 2014. № 1. С. 3–11.
- Рожков В.А. Оценка информативности почвенных признаков // Почва и окружающая среда. 2018. № 1(3). С.143 – 150. doi:10.31251/pos.v1i3.30
- Шраг. В.И. Пойменные почвы, их мелиорация и сельскохозяйственное использование. М.: Россельхозиздат, 1969, -270 с.

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И КОМПОНЕНТОВ ФИТОЦЕНОЗОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫЕ ВЫПАДЕНИЯ ЦИНКА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Т.В.РЫКОВА, А.А.МАРТЫНЮК

Федеральное государственное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкино

До настоящего времени накопление тяжелых металлов в почвах вокруг промышленных предприятий рассматривается как одна из серьезных внутренних угроз экологической безопасности страны и является существенным фактором ухудшения состояния и нарушения жизнедеятельности лесных экосистем. Вместе с тем, несмотря на значительную изученность поведения тяжелых металлов в лесных экосистемах (Автухович, 2006; Лукина и др., 1996; Никонов и др., 1994; Никонов и др., 2004) особый интерес представляют результаты исследований влияния конкретных доз загрязнителей на динамику компонентов экосистем, полученные в естественных условиях местопроизрастания, что

позволяет оценивать проявление фитотоксичного эффекта вредных веществ и осуществлять нормирование техногенного воздействия в реальных условиях среды (Воробейчик и др., 1994; Мартынюк, 2008). Данный подход особенно актуален для загрязнения лесных почв тяжелыми металлами, нормирование которого осуществляется по санитарно-гигиеническим принципам (по уровням: транслокационный, миграционный, общесанитарный), не отражающим в достаточной мере характер воздействия загрязнителей на леса. Остаются не до конца раскрытыми закономерности загрязнения отдельных компонентов лесных экосистем и поведения химических элементов в лесу, особенности их влияния на состояние и динамику структуры лесного фитоценоза, а также вопросы определения пороговых значений допустимого воздействия как первоочередной меры по сокращению ущерба лесам от техногенного загрязнения.

В целях решения рассматриваемых вопросов нами проведено изучение реакции экосистем сосны обыкновенной на контролируемое по количеству (величине выпадений) воздействие цинка одного из наиболее распространенных в промышленных выбросах загрязнителя. Полевые эксперименты были заложены на территории Воскресенского научно-исследовательского стационара ВНИИЛМ (Виноградовское лесничество, бывший Виноградовский лесхоз) в пределах Воскресенского района Московской области. Почва на участке дерново-подзолистая, псевдофибровая, связнопесчаная на связном тонкозернистом песке. Для эксперимента был выбран участок в 15-летних культурах сосны, в котором на поверхность почвы делянок вручную вносили соль азотнокислого цинка ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) в следующих вариантах: 1) контроль (0 г/м^2), 2) 7 г/м^2 (расчетная величина, соответствующая значению ПДК= 23 мг/кг цинка в почве); 3) 30 г/м^2 ; 4) 90 г/м^2 ; 5) 150 г/м^2 ; 6) 225 г/м^2 и 7) 300 г/м^2 .

Результаты исследований показали, что распределение внесенного цинка по почвенному профилю и ее динамика во времени коррелируют с объемами поступления элемента на поверхность почвы. При небольших нагрузках (до 90 г/м^2) цинк почти полностью поглощался верхним слоем почвы (0-20 см). С увеличением внесенной дозы цинка (до $150\text{-}300 \text{ г/м}^2$) более половины его удерживалось в верхнем слое почвы, а остальное количество поступало вглубь и частично поглощалось корнями растений. С течением времени наблюдалось постепенное выщелачивание избыточных концентраций цинка вниз по почвенному профилю, что находило подтверждение в содержании металла в пробах, отобранных в разных слоях почвы, а также в концентрации элемента в лизиметрических водах. В ходе эксперимента концентрация цинка в слое почвы 0-60 см постепенно уменьшалась, однако даже через 7 лет около 35-75 % Zn, в зависимости от объема первоначальных выпадений, продолжало удерживаться почвой.

Интенсивность выпадений цинка оказывала существенное влияние на состояние фитоценоза и биометрические показатели его отдельных компонентов. Избыточное поступление цинка в организм деревьев приводило к дехлорации хвои сосны, что может быть обусловлено нарушением синтеза и фотодеструкции хлорофилла и каротиноидов. В молодняках сосны спустя год после внесения $Zn(NO_3)_2$ хлороз хвои наблюдался при нагрузках 150-225-300 г/м² у 13%, 47% и 94% деревьев соответственно, при этом нагрузки цинка 225 и 300 г/м² существенно уменьшали длину и массу хвоинок.

Величина индекса состояния древостоев сосны постепенно, начиная с нагрузки в 30 г/м², ухудшалась в течение хода эксперимента. К периоду завершения наблюдений состояние древостоев при нагрузках в 90 и 150 г/м² ухудшилось, по сравнению с контролем, на 0.4 – 0.5 балла (на 28 – 35%), по сравнению с их первоначальным состоянием до внесения солей цинка (1999 г.) – на 0,7 балла (58-64%). При нагрузке 150 г/м² различия с контролем возрастали до 1.3 балла, т.е., практически вдвое. С увеличением уровня загрязнения до 225 и, особенно, 300 г/м², состояние молодняков резко ухудшилось (изменение индекса состояния в 2.6 и 3.3 раза соответственно) уже на следующий год после внесения солей цинка на поверхность почвы, а к концу наблюдений при 225 г/м² величины индекса состояния достигли 3,6 балла (средне ослабленное насаждение), при 300 г/м² – 4.2 балла (сильно ослабленное насаждение).

Ухудшение состояния древостоев происходило в результате перераспределения деревьев различных категорий состояния в ходе эксперимента, причем интенсивность перехода от более здоровых деревьев к более ослабленным и интенсивность образования отпада возрастали с увеличением нагрузки металла. К завершению эксперимента при выпадениях цинка 225-300 г/м² древостой на 50-70% состоял из усыхающих и сухих деревьев, т.е. фактически распадался.

Увеличение техногенной нагрузки приводило к снижению величины линейного прироста осевого побега сосны; во все годы наблюдений достоверность различий с контролем оставалась значимой для максимальных нагрузок цинка 225 и 300 г/м².

В состоянии естественного возобновления сосны практически необратимые изменения начинались при нагрузке цинка 90 г/м² и более. С увеличением выпадений элемента наблюдалось дальнейшее снижение сохранности самосева. При максимальной нагрузке 300 г/м² на третий год эксперимента сохранялись лишь единичные всходы сосны, что может быть объяснено снижением токсичности почвы в связи с вымыванием значительной части загрязнителя.

В ходе лабораторных испытаний установлено, что при нагрузке цинка 90 г/м² энергия прорастания и всхожесть семян сосны снижались в 2 раза, а количество всходов до 50% по сравнению с контролем. С повышением нагрузки контролируемые показатели продолжали

закономерно ухудшаться: при нагрузке в 300 г/м² всхожесть семян и количество всходов снижались до минимальных значений, отмеченных в опыте (до 5% от значения контроля).

Загрязнение лесных почв сосняков зеленомошниковых выпадениями цинка приводило к изменению видового состава их травяно-мохового покрова. При нагрузке металла в 150 г/м² уменьшение числа видов в травяном покрове достигало 38%, 300г/м² – 71%, при 600 г/м² – 73%. Наиболее чувствительными к загрязнению являлись мхи (*Polytrichum commune*, *Pleurozium Schreberi*, *Hypnumcupressarium*, *Dicranum scoparium*), повреждение которых фиксировалось при самых низких уровнях нагрузки (7 г/м²). Повышенной чувствительностью отличались злаки; сравнительно устойчивы напочвенные лишайники – *Cetraria islandica* и *Cladonia rangiferina*. Первые признаки повреждения полукустарничкового яруса (черника) отмечались при нагрузке цинка 150 г/м².

ЛИТЕРАТУРА:

- Автухович И.Е. Металлы и древесные растения: экологические аспекты взаимодействия. Автореферат дисс. д.с.-х.н. Москва, 2006.41с.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург, УИФ “Наука”, 1994. 280с.
- Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты : Кольский НЦ РАН, 1996. – Ч. 1. – 214 с. ; Ч. 2. 196 с.
- Мартынюк А.А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения, их сохранение и реабилитация /А.А.Мартынюк. Автореф. дис, д-ра наук. М., 2009. 37с.
- Никонов, В. В. Лукина Н. В. Питательный режим сосновых лесов в условиях аэротехногенного загрязнения на Кольском полуострове. Лесоведение. – 1994. – № 1. – С. 37–44.
- Никонов В.В., Лукина Н.В., Безель В.С. и др. Рассеянные элементы в бореальных лесах /отв.ред. А.С. Исаев. М.: Наука, 2004.616с.

КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ (ХРЕБЕТ БАСЕГИ)

И.А. САМОФАЛОВА

ФГБОУ ВО Пермский государственный аграрно-технологический университет

Взаимоотношения леса и почвы остаются постоянной темой исследований в лесоведении и почвоведении. Почва представляет собой сложную кислотно-основную систему. Кислотность почв определяет направленность, динамику, степень проявления процессов миграции и трансформации веществ органического и неорганического происхождения (Чернов, 1947; Соколова и др., 2007; Кошовская, 2013; Самофалова и др., 2014; Самофалова и др., 2016а, 2016б; Самофалова, 2017). В сильнокислых почвах изменяется соотношение ионов (Соколова и др., 2007; Шамрикова и др., 2011; Шамрикова, Соколова, 2013; Самофалова, Кондратьева, 2016). Ученые, изучавшие горные почвы Урала доказывали, что почвы являются сильно кислыми (Иванова, 1947; Тифлов, 1952; Богатырев, Ногина, 1962; Фирсова, 1968; Михайлова, 1977; Фирсова, 1991; Сайранова, Самофалова,

2018). Почвы горных ландшафтов чувствительны к кислотным воздействиям, и как следствие, обладают слабой эколого-геохимической устойчивостью к кислотным воздействиям (Самофалова, Кондратьева, 2016). Все изменения состава и свойств почв отражаются на состоянии биосферы (Добровольский, 1996). Заповедные территории сохраняют средообразующие функции природы и биоразнообразие экосистем, и способствуют сохранению уникальной природы (Координация экомониторинга в ООПТ, 2000; Природное наследие Урала..., 2012).

Цель исследования – выявить провинциальные особенности кислотно-основных свойств бурых лесных почв в высотных ландшафтах Среднего Урала. Объекты исследований – бурые лесные почвы (бурозёмы) хребта Басеги ($58^{\circ}50'$ и 60° с.ш.), который расположен западнее от водораздельной части Урала и входит в состав «Государственного заповедника «Басеги». Территория удалена от промышленных центров. Хребет меридианально вытянут, и состоит из гор: Северный Басег (951,9 м), Средний Басег (994,7 м) и Южный Басег (851 м). Климат холодный и влажный, типично горный, с проявлением континентальности. Территория относится к подзоне средней тайги бореально-лесной зоны и выделяют горно-лесной, подгольцовый (субальпийский) и горно-тундровый (гольцовый) пояса. На горе Северный Басег встречаются разнообразные ландшафты: елово-березовые криволесья; высокотравные луга, различающиеся по степени зарастания ивой и по степени увлажнения; пихтово-еловый аконитовый лес на западном склоне, ельник папоротниковый на восточном склоне; березово-еловый травяно-кустарничковый лес и березняк таволго-разнотравный (приручьевые леса в нижней части горно-лесного пояса на высоте 340-390 м).

Предпринята попытка исследовать буроземы, формирующиеся в условиях Среднего Урала с учетом высотно-растительных условий: криволесье (8 разрезов), субальпийские луга (12 разрезов), парковое редколесье (10 разрезов), горно-лесной пояс (15 разрезов). Использовали классификацию почв России (Полевой определитель почв, 2008). Аналитические исследования выполнены на кафедре почвоведения Пермского ГАТУ общепринятыми методами. Статистическая обработка проведена в программах Microsoft Excel и STATISTICA 8.

Формирование буроземов происходит с высоты 315 м до 820 м. н.у.м. с различными генетическими признаками, которые обуславливают подтиповую принадлежность почв: грубогумусированность, ожелезнение, оглеение, элювиирование, иллювиирование.

Буроземы имеют очень сильно кислую и кислую реакцию среды: среднее значение pH_{KCl} составляет 3.6 единиц, максимальное – 4.2, минимальное – 2.9 ед. Статистическое распределение показателя pH_{KCl} по профилю подтипов буроземов имеют общие закономерности: большие значения показателя характерны для гумусового горизонта, а

затем, отмечается незначительное снижение показателя вниз по профилю. Менее кислыми являются буроземы под луговым разнотравьем и парковыми разреженными лесами; большей кислотностью характеризуются буроземы криволесья; максимальное варьирование показателя характерно для буроземов горно-лесного пояса.

Значения гидролитической кислотности (Нг) являются высокими практически в пределах всего профиля. В глинисто-иллювирированных подтипах показатель значительно ниже, чем в других подтипах. Профили буроземов по распределению Нг условно можно разделить на 2 части: гумусовую (с максимальным варьированием показателя в пространстве) и структурно-метаморфическую (с минимальным варьированием и более стабильным содержанием). Нг изменяется в гумусовых горизонтах в зависимости от положения в ландшафте: максимально высокий в буроземах в горно-лесном поясе (более 40-50 ммоль/100 г); в буроземах под луговым разнотравьем и в криволесье Нг ниже и варьирует в меньшей степени.

Сумма обменных оснований варьирует в буроземах от 2 до 33 ммоль/100 г. Распределение показателя по профилю отличается по подтиповой принадлежности. Насыщенность основаниями в буроземах невысокая, значения показателя несколько увеличиваются от верхних горизонтов к нижним. Менее всего насыщены основаниями грубогумусированные буроземы. Большой насыщенностью обменными катионами характеризуются ожелезненные и глинисто-иллювирированные подтипы, формирующиеся под высокотравными парковыми лесами и луговыми полянами, расположенных на более выположенных участках склонов.

Выводы. В высотных ландшафтах Среднего Урала формируются элювирированные, ожелезненные, глинисто-иллювирированные, грубогумусированные подтипы буроземов. Провинциальные особенности кислотно-основных свойств бурозёмов проявляются в наличии кислотных геохимических барьеров между гумусовыми и структурно-метаморфическими горизонтами в профиле почв; в более кислой структурно-метаморфической части профиля; в большей насыщенности обменными катионами глинисто-иллювирированных и ожелезненных подтипов бурозёмов на пологих участках склонов под высокотравными биоценозами на высоте 600-800 м н.у.м.; в очень высокой потенциальной кислотности, и особенно в бурозёмах горно-лесного пояса.

По кислотно-основным свойствам обособляются элювирированные и грубогумусированные, глееватые подтипы бурозёмов в горно-лесном поясе. В подгольцовом поясе (парковое редколесье, луговые поляны, криволесье) обособленно группируются ожелезненный и глинисто-иллювирированный подтипы бурых лесных почв.

ЛИТЕРАТУРА:

- Богатырев К.П., Ногина Н.А. Почвы горного Урала // Труды Почвенного института АН СССР. 1962. С. 5-48.
- Добровольский Г.В. Значение почв в сохранении биоразнообразия // Почвоведение. 1996. №6. С. 694-698.
- Иванова Е.Н. Почвы Урала // Почвоведение. 1947. № 4. С. 213-227.
- Координация экомониторинга в ООПТ / Сборник науч. тр. Екатеринбург: Изд. «Екатеринбург», 2000. 252 с.
- Кошовская О.С. Кислотность почв ландшафтов Северного Сихотэ-Алиня / Труды второй международной научно-практической конференции молодых ученых «Индикация состояния окружающей среды»: сборник статей. М.: ООО Буки-Веди, 2013. 480 с.
- Михайлова Р.П. Бурые грубогумусные ненасыщенные почвы Урала // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1977. С. 87-142.
- Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Природное наследие Урала. Разработка концепции регионального атласа / под ред. чл.-корр. РАН А.А. Чибилёва. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 480 с.
- Сайранова П.Ш., Самофалова И.А. Кислотно-основные свойства горных почв на Северном и Среднем Урале // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 94-97.
- Самофалова И.А. Разнообразие почв низкогорных ландшафтов и особенности их формирования на западном макросклоне Среднего Урала (заповедник «Басеги») // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник. 2017. № 3 (19). С. 10-17.
- Самофалова И.А., Кондратьева М.А. Буферность горных почв субальпийского пояса к кислотному воздействию (заповедник «Басеги») // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник. 2016. № 3 (15). С. 94-103.
- Самофалова И.А., Лузянина О.А., Кондратьева М.А., Мамонтова Н.В. Элементный состав почв в ненарушенных экосистемах на Среднем Урале // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 5 (115). С. 67-74.
- Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А. Диагностика почв различных высотно-растительных поясов Среднего Урала по групповому составу соединений железа // География и природные ресурсы. 2016а. № 1. С. 141-148.
- Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А., Савичев А.Т. Геохимические особенности распределения макроэлементов в почвах ненарушенных ландшафтов Среднего Урала (на примере заповедника «Басеги») // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016б. № 85. С. 56-76.
- Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе: уч. пос. Тула, 2007. 96 с.
- Тифлов М.А. Почвы горных лугов Западного Урала: Автореферат. Л., 1952. 18 с.
- Фирсова В.П. Бурые горно-лесные почвы Урала // Почвоведение. № 4 1991. С. 47-58.
- Фирсова В.П. К вопросу о распространении и свойствах бурых лесных почв на Урале // В сб.: Лес и почва: Тр. Всесоюз. науч. конф. Красноярск, 1968. С. 200-203.
- Чернов В.А. О природе почвенной кислотности. Изд. АН СССР, М.-Л., 1947. 185 с.
- Шамрикова Е.В., Казаков В.Г., Соколова Т.А. Варьирование показателей кислотно-основного состояния автоморфных суглинистых почв таежной и тундровой зон Республики Коми // Почвоведение. 2011. № 6. С. 1-14.
- Шамрикова Е.В., Соколова Т.А. Взаимосвязь между различными формами кислотности автоморфных суглинистых почв тундры и тайги // Почвоведение. 2013. № 5. С. 556-569.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА СТРУКТУРУ МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА ПОЧВ КАМЕННОЙ СТЕПИ

М.Ю. САУТКИНА¹, Ю.И. ЧЕВЕРДИН²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Научно-исследовательский институт сельского хозяйства ЦЧП им. В.В. Докучаева, Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. Докучаева

Известно, что выращиваемые древесные породы и насаждения в целом, должны соответствовать лесорастительным условиям: в первую очередь климату и почвам. Поэтому и

обратный процесс – влияние древесных пород на почвы также имеет по актуальности первостепенное значение.

Целью исследования являлось определение направленности и интенсивности почвенно-биологических процессов и влияния древесных насаждений на структуру микробного ценоза.

Объектом исследования служила полевая защитная лесная полоса №133 и пахотные участки, примыкающие к данной лесополосе, входящие в состав агролесомелиоративного комплекса Каменной Степи. Лесная полоса №133 (1950 г. посадки) направлена с запада на восток, располагается на водораздельном участке на трех типах местности – плакорном, междуречном недренированном и склоновом; состоит из трех литер (*а*, *б*, *в*). Отбор почвенных образцов производили в конце июля 2018 г. Общую численность и структуру эколого-трофических групп микробного сообщества определяли по методике Е.З. Теппер (Теппер и др., 2004).

При анализе почвенной микрофлоры под полевой защитной лесной полосой №133 и примыкающих к ней пахотным участкам установлено, что численность агрономически ценной микрофлоры (МПА+КАА) максимальна в почвенных образцах литер *а* и *б* (плакорный тип местности) и литера *в* (склоновый тип местности) данной лесополосы и составляет соответственно 32.29 и 26.37 млн. КОЕ / 1 г почвы. Численность данных микроорганизмов на пахотных участках, примыкающих к соответствующим участкам исследуемой лесополосы ниже на 26.4 и 17.5%.

Рассматривая структуру микробного ценоза исследуемых вариантов, необходимо отметить, что максимальными показателями численности аммонификаторов характеризуются почвенные образцы лесной полосы №133 на плакорном типе местности, и примыкающего к нему пахотного участка поля, занятого озимой пшеницей — 10.76 и 10.56 млн. КОЕ на 1 г почвы, соответственно. На склоне лесополосы представительство данной группы микроорганизмов существенно ниже — 7.94 млн. КОЕ на 1 г почвы. Вероятно, это объясняется ослабленным жизненным состоянием деревьев дуба в литере *в*, менее развитой у них кроной и корневой системы, и, как следствие, меньшим количеством отмирающей биомассы поступающей в почву. Интенсивное сельскохозяйственное использование земель существенным образом изменяет интенсивность микробиологических процессов. Поэтому минимальным содержанием аммонификаторов характеризуются почвенные образцы пахотного участка, занятого озимой пшеницей, на склоне (литера *в*) — 6.55 млн. КОЕ на 1 г почвы.

В результате наших исследований установлено, что наиболее многочисленной группой гетеротрофного комплекса почвенных микроорганизмов являются амилолитики

(КАА). Они принимают активное участие в процессах трансформации органических соединений растительного происхождения и выполняют функцию иммобилизаторов легкодоступного углерода (Аристовская, 1980). Численность амилolitikов максимальна в почвенных образцах на плакоре лесной полосы №133 — 18.49 млн. КОЕ/ 1 г почвы. На склоне лесополосы их количество на 19.7 % меньше и составляет 14.85 млн. КОЕ/1 г почвы. Почвенные образцы участков, вовлеченных в сельскохозяйственное использование, отличаются существенно более низкой численностью данной группы микроорганизмов.

Сходная тенденция распределения численности характерна для актиномицетов, которые также учитывались на среде КАА. Так, максимальная их численность характерна для почвенных образцов лесной полосы № 133 (склон и плакор) – 3.04 и 3.58 млн. КОЕ / 1 г почвы соответственно.

Важную роль в разложении растительных остатков играют целлюлозолитические микроорганизмы. Высокая степень обогащенности почвы целлюлозолитиками отмечена в почвенных образцах плакорной части лесной полосы №133 (литеры *a* и *b*) — 66.24 тыс. КОЕ/ 1 г почвы, соответственно. Минимальное их количество выявлено в образцах почвы склоновой части лесополосы №133 — 38.4 тыс. КОЕ, что на 42% ниже количества данной группы микроорганизмов в образцах плакорной части лесополосы.

Установлено, что активность нитрифицирующих бактерий значительно варьирует в зависимости от характера использования угодий. Общей закономерностью, которую следует отметить, является повышенное их содержание на пахотных участках, прилегающих к лесной полосе №133. Почвенные образцы лесной полосы имели более низкие показатели и уступали агрогенным почвам. Максимальное различие отмечено между образцами склонового участка лесной полосы № 133 и прилегающей части пахотного чернозема. В первом случае количество нитрификаторов отмечено на уровне 0.38 тыс. КОЕ/ 1 г почвы, а во втором повышается до 0.54 тыс. КОЕ/ 1 г почвы.

В результате исследований установлено, что наиболее оптимальные условия для развития почвенных микромицетов складываются в почвах под древесной растительностью. При вовлечении черноземов в активное сельскохозяйственное пользование численность грибной микрофлоры снижается. Наибольшее количество грибных зачатков содержится в почве под лесной полосой №133 (плакор) — 53.82 тыс. КОЕ / 1 г почвы, а минимальное их число зафиксировано в почве пахотного участка, прилегающего к данному участку лесополосы — 30.36 тыс. КОЕ / 1 г почвы. Такую разницу в численности микромицетов можно объяснить различиями запасов фитомассы вегетативных частей растений, поступающих в почву при отмирании.

В ходе микробиологической оценки установлено, что в почвенных образцах лесной полосы активность бактерий р.*Azotobacter* незначительна. Так, в почвенных образцах на склоне изучаемой лесополосы данной группы прокариот обнаружено не было. Однако на пахотных угодьях их активность существенно возрастает. Максимальное количество колониеобразующих единиц азотобактера зафиксировано в почвенных образцах, взятых с поля, занятого яровым ячменем, граничащего с лесополосой № 133 (плакор) — 315 КОЕ / 50 г почвы. Следовательно, ежегодная обработка почвы имеет решающее значение и способствует увеличению активности колоний азотобактера.

Наряду с процессами гумусообразования в почве постоянно протекают процессы минерализации почвенного гумуса в результате действия аэробных микроорганизмов-минерализаторов (Мишустин, 1987). Максимальная их активность отмечена в почвенных образцах пахотных участков, примыкающих к лесополосе (плакор и склон) — 13.2 и 15.2 млн. КОЕ / 1 г почвы соответственно. Активность минерализаторов гумуса под древесной растительностью значительно ниже.

Таким образом, полезащитные лесные насаждения в лесостепных и степных регионах России являются мощным фактором активизации микробиологической активности, влияющим на изменения эволюционной направленности почвообразовательных процессов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 275 с.
Мишустин Е.Н., В.Т. Емцев. Микробиология. М.: Агропромиздат, 1987. 368с.
Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов. М.: Дрофа, 2004. 256 с.

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА И ГЕОГРАФИИ СЕРОГУМУСОВЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Д.П. СЫМПИЛОВА, Н.Б. БАДМАЕВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и экспериментальной науки СО РАН, г. Улан-Удэ

Согласно Б.Г. Розанову (1977), в почвенном покрове горных систем повсеместно распространены буроокрашенные слабодифференцированные на горизонты почвы — камбисоли, которые формируются на горных склонах независимо от ландшафтно-климатических условий той или иной горной страны. С точки зрения эволюционной концепции почвообразования, эта стадия развития почвенного покрова, которая длительно поддерживается в условиях горного склонового почвообразования (Wojko, Kabala, 2016;

Kowalska et al., 2019; Pereira, FitzPatrick, 1995). Скорость склоновых процессов такова, что почвообразование не успевает сформировать более развитый профиль.

Камбисоли – умеренно развитые почвы со слабой дифференциацией профиля, в которых почвообразование проявляется в изменении окраски и структуры горизонтов. Для этих почв характерны, как минимум, зачаточные признаки формирования горизонта В (IUSS, Working Group, 2015).

Для центральной части Западного Забайкалья характерно чередование горных хребтов и межгорных понижений (падей), где ландшафты представлены сухими сосновыми лесами, отличительной чертой которых является остепненность травяного покрова. Межгорные долины приурочены к пологим склонам подгорных шлейфов хребтов, надпойменным и пойменным террасам речных долин. Эти формы рельефа перекрыты толщей песков кривоярской свиты и лессовидными отложениями (Базаров, 1968).

Климат резкоконтинентальный, среднее годовое количество осадков не превышает 250 мм, большая часть (50-55%) выпадает летом, отсутствие устойчивого снежного покрова способствует глубокому промерзанию почв. Склоны разных экспозиций сильно различаются по солярно-энергетическим ресурсам.

При выветривании молодых геологических образований (песчаных и лессовидных отложений) даже при благоприятных географических условиях горизонты, образующие профиль, плохо выражены по причине недостаточного для их формирования времени. В этом случае образуется неоднородная выветренная масса, содержащая участки слабо измененных и почти неизмененных пород (Добровольский, 2007).

Лесные экосистемы в горно-котловинных ландшафтах Западного Забайкалья занимают 80% территории. Здесь на склонах транзитных и трансаккумулятивных позиций широко распространены почвы со слабодифференцированным профилем, в приводораздельных и водораздельных частях элювиальных позиций – почвы с бурым метаморфическим профилем (Сымпилова, Бадмаев, 2019).

Исследования генезиса и географии серогумусовых почв с позиции принципов и подходов, рассмотренных в Классификации и диагностике почв России (2004), Полевом определителе почв России (2008) и IUSS Working Group WRB (2015) представляют научный интерес.

Серогумусовые (дерновые) почвы в центральной части Западного Забайкалья формируются на склонах различных экспозиций на высотах от 620-850 м над ур. моря под мелколиственными и светлохвойными рододендроновыми-разнотравными лесами на элюво-делювии гранитов и основных пород. В разнотравье встречаются как таежные, так и степные виды. Почвообразующей породой служат песчаные, щебнистые и лессовидные отложения.

Гумусово-аккумулятивные горизонты, 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 (2-3%) с резким убыванием вниз по профилю. Почвы характеризуются слабокислой или нейтральной реакцией, имеют высокую степень насыщенности основаниями (80-100%). Среди обменных катионов преобладает кальций. Емкость поглощения в гумусовых горизонтах достигает 13-35 смоль(экв)/кг. Гранулометрический состав – легкосуглинисто-супесчаный, наблюдается некоторое утяжеление в верхней части профиля. Доминирует фракция мелкого песка и крупной пыли. Тип гумуса – гуматно-фульватный (Сгк/Сфк – 0.63-0.97), далее доля фульвокислот увеличивается в нижних горизонтах. Серогумусовые 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 слабокристаллизованные 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. Соотношения $SiO_2:R_2O_3$ слабо изменяются по профилю. Прослеживается слабая аккумуляция биогенных элементов (CaO, MgO, MnO) в верхних горизонтах.

Низкое содержание гумуса с резким падением вниз по профилю, отсутствие текстурной дифференциации отличает эти почвы от серых лесных. Согласно субстантивно-генетической классификации исследованные почвы идентифицируются как серогумусовые, которых не было в Классификации и диагностике почв СССР (1977).

Таким образом, серогумусовые почвы центральной части Западного Забайкалья формируются 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. Срединные горизонты слабо выражены, почвообразовательные

процессы представлены на уровне признаков. Слабо выраженные процессы внутривертикального перераспределения веществ свидетельствуют о «литогенности» исследованных почв. Педогенная аккумуляция карбонатов происходит на уровне признаков процессов, которые унаследованы от почвообразующих пород.

На основе анализа морфологических и аналитических данных и в соответствии с критериями, установленные WRB (2015), серогумусовые почвы исследованной территории следует классифицировать как Eutric Cambisols (Siltic). Квалификатор Eutric указывает на высокую степень насыщенности основаниями. Дополнительный квалификатор Siltic показывает высокое содержание пыли. Незначительная аккумуляция вторичных карбонатов кальция соответствует диагностическим критериям свойства Protocalcic.

**Работа выполнена по проекту АААА-А17-117011810038-7.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Базаров Д.Б. Четвертичные отложения и основные этапы развития рельефа Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Бур. кн. изд-во, 1968. 166 с.
- Добровольский В.В. Гипергенез и коры выветривания. Избранные труды. М.: Научный мир, 2007. Т. I. 509 с.
- Классификация и диагностика почв России / Ред. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
- Полевой определитель почв России. М. 2008.182 с.
- Розанов Б.Г. Почвенный покров земного шара. М.: Изд-во МГУ, 1977. 248 с.
- Сымпилова Д.П., Бадмаев Н.Б. Почвообразование в ландшафтах контакта тайги и степи Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // Почвоведение, 2019. № 2. С. 140-151.
- Wojko O., Kabala C. Transformation of physicochemical soil properties along a mountain slope due to land management and climate change – A case study from the Karkonosze Mountains, SW Poland // Catena, 2016. Vol. 140. P. 43-54.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No.106. FAO. Rome.
- Kowalska J.B., Zaleski T., Jozefowska A., Mazurek R. Soil formation on calcium carbonate-rich parent material in the outer Carpathian Mountains – A case study// Catena, 2019. Vol. 174. P. 436-451.
- Pereira V., FitzPatrick E.A. Cambisols and related soils in north-central Portugal: their genesis and classification // Geoderma, 1995. Vol. 66. P. 185-212.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

И.А. УДАРЦЕВ, И.В. ГРЕХОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень

Южная часть Тюменской области имеет площадь почв без водной поверхности 15,5 млн. га (Каретин, 1990). Залесенность территории почти 50%. Расположенный в южной части Тюменской области Армизонский район входит в состав Тобол-Ишимского озёрно-аллювиального геоморфологического района. Лесистость его составляет 14,6%. Леса

представлены рассредоточенными по территории района различными по величине лесными участками (лесные дачи, колки). Из лесных пород здесь произрастают берёза бородавчатая – 70% древесной растительности и осина – 20% древесной растительности. На территории района имеется значительное количество больших и малых озёр, большая часть которых горько-солёные. Источником питания озёр являются как атмосферные осадки, так и грунтовые воды, глубина залегания которых варьирует от 5 до 15 м. Грунтовые воды чаще всего засолены.

При изучении почв юга Тюменской области в большей степени уделяется внимание пашне, а почвы лесных массивов в основном не обследуются. На территории Армизонского лесничества наблюдаются периодические (30-50 лет) колебания уровня грунтовых вод. В настоящее время отмечается понижение уровня грунтовых вод. Площади лесов, подверженных вымочке, значительны, и в погибших лесных массивах резко сменился напочвенный покров.

Цель исследований – изучение почв берёзовых лесов Армизонского лесничества.

Во время полевых почвенных исследований берёзовых лесов Армизонского лесничества изучались морфологические признаки почвенного профиля и в каждом генетическом горизонте отбирались образцы для почвенного анализа. Всего было обследовано 8 берёзовых лесов, расположенных в разных поселениях лесничества.

Территория лесничества представляет собой слабоволнистую равнину с большим количеством блюдцеобразных понижений и озёр. Абсолютные высоты над уровнем моря не превышают 40-60 м. Почвенный покров района имеет прямую связь с рельефом. Близость к поверхности в большинстве случаев засоленных грунтовых вод наряду с климатическими особенностями является основной причиной распространения на описываемой территории почв с признаками осолодения и солонцевания.

Почвообразующие породы представлены лёссовидными глинами, суглинками и супесями преимущественно желто-бурого и редко сероватого цвета, часто являются засоленными, что связано с вторичным засолением их за счёт засоления грунтовых вод. Все они в различной степени карбонатны.

На повышенных элементах рельефа (гривы, увалы) соли отмыты на значительную глубину и сформировались почвы чернозёмного типа и серые лесные почвы. По понижениям и слабо приподнятым элементам рельефа, где уровень грунтовых вод стоит на незначительном расстоянии от поверхности, сформировались солоды и почвы солонцово-солончакового типа почвообразования.

Обследованные берёзовые леса произрастают на разных почвах: тёмно серой лесной осолоделой, серой лесной осолоделой и солоды.

Термин «осолоделые» подчеркивает региональную особенность почв, формирующихся под мелколиственными лесами (Каретин, 1990).

В верхней части (A0) почвенного профиля серых лесных почв сформирована слабо развитая дернина, мощность ее вместе с лесным опадом обычно не превышала 5 см. Гумусово-элювиальный горизонт (A1) у серых лесных до 18 см, у темно-серых – 26-42 см. В зависимости от подтипа он окрашен от светло- до темно-серого цвета, иногда почти черного; структура комковатая или пылевато-комковатая; рыхлый или слегка уплотнен. Нижележащий горизонт (A1B1) в пределах 4-11 см, имеет светло- или белесовато-серую окраску с кремнезёмистой присыпкой, уплотненное сложение, структура комковато-пластинчатая. Иллювиальный горизонт (B) чётко выделяется своей бурой или темно-бурой окраской, плотным сложением и ореховатой структурой, структурные отдельности имеют гляцевую лакировку по граням, в верхней части обнаруживается кремнезёмистая присыпка. В средней или нижней части горизонта имеются образования карбонатов в виде пятен, мелких вкраплений, размытых конкреций, прожилок. Глубина вскипания составляет 58-105 см. Материнская порода (C) имеет светло- и охристо-бурую или палево-бурую окраску, менее плотная, чем вышележащий горизонт, структура не выражена. Нередко обнаруживаются следы оглеения в виде ржаво-охристых образований или сизых пятен.

Солоди представлены двумя подтипами: луговые (грунтовые воды на глубине 2-3 м) и лугово-болотные (грунтовые воды на глубине 1-2 м). Различия между подтипами солодей состоят в различной степени выраженности оглеения (Каретин, 1990). У луговых солодей признаки оглеения в виде сизых и ржаво-охристых пятен, которые проявляются в горизонте B2 с усилением признаков оглеения в материнской породе. У лугово-болотных солодей горизонты B2 и C имеют сизый фон, а признаки оглеения появляются в горизонте A2.

Верхний горизонт (A0) солодей луговых не превышал 2 см, рыхлый, представлен лесной подстилкой, слегка задернован. У лугово-болотной солоди он более мощный (5 см), задернован и оторфован. Гумусовый горизонт (A1) тёмно-серой окраски, мощностью до 26 см у луговой солоди. Осолоделый горизонт (A2) мощностью 9 см, листовато-плитчатой структуры, белёсой окраски, представлен аморфным кремнезёмом. Верхняя часть иллювиального горизонта (B1) чётко выделяется по тёмно-бурой окраске, очень высокой плотности и ореховатой структурой, по граням структурных отдельностей ярко выражена гляцевая гумусовая лакировка и кремнезёмистая присыпка. В нижней части горизонт становится более светлым, менее плотным. Карбонаты (горизонт Bк) в форме вкраплений, размытых конкреций, прожилок. Глубина вскипания составляет 60-100 см. Материнская порода (C) светло-бурой окраски с сизыми потеками, ржаво охристыми пропитками и карбонатными прослойками.

В исследуемых почвах наибольшее распространение получили тяжелосуглинистые песчано-пылеватые и иловато пылеватые разновидности. Преобладающей фракцией в пределах всего почвенного профиля во всех исследуемых разрезах является крупная пыль и мелкий песок, что свидетельствует, о формировании этих почв на лессовидных суглинках. В отличие от серых лесных осолоделых почв для солодей характерна более резкая дифференциация почвенного профиля по перераспределению илистой фракции, содержание илистой фракции в горизонте В в 2 раза больше, чем в горизонте А2.

Содержание гумуса в верхней части профиля горизонта А1 серых лесных осолоделых почв – 3.6-5.6%, солодей – 2.3-4.1%.

На обследованных почвах произрастают берёзовые насаждения преимущественно 3 бонитета. Только на одном участке из-за поднятия грунтовых вод лес вымок, и большинство деревьев погибло.

ЛИТЕРАТУРА:

Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука, СО, 1990. 286 с.

О ПРИЧИНАХ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕСИБИРСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

Л.А. ФОМИНЫХ

ФГБУ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
Пушино, Московская обл.

Своеобразие геолого-геоморфологических условий определяет в историческом и зональном аспектах закономерности почвообразования и характер почвенного покрова горной тайги Средней Сибири. В условиях распространения пород трапповой формации в широком диапазоне современных биоклиматических условий мерзлотной области от тундролесий и северной тайги до средней и южной тайги прослеживается зональный спектр почв на однотипных породах. Сибирские траппы, широко распространенная на плоскогорье группа массивно-кристаллических пород основного состава, – это наиболее устойчивые к выветриванию и эрозии горные породы в криолитозоне в отличие от интенсивно разрушающихся кварцсодержащих пород. В доледниковое время здесь существовали обширные поверхности выравнивания. В их пределах были развиты мощные коры выветривания (КВ) гумидного типа (Воскресенский, 1956). Глубокие изменения в природной обстановке, вызванные плейстоценовыми оледенениями, выразились в установлении перигляциального режима на обширных пространствах внеледниковой зоны, куда относится

большая часть территории Средней Сибири (Горшков, 1967; и др.). Комплекс доледниковых образований был почти полностью уничтожен и частично захоронен, а его минеральные компоненты рассредоточены на обширных площадях (Пельтек, 1971). Обнажившиеся в результате эрозии плотные породы подверглись интенсивным процессам господствовавшего в перигляциальных условиях (как и в современной арктической криолитозоне (Чигир, 1965) физического выветривания в форме мерзлотного крипа. Процессы мерзлотного крипа обусловили формирование обломочной коры выветривания, унаследовавшей в своей массе ряд компонентов от предыдущих этапов гипергенеза. Сформированный этими процессами суглинисто-каменистый покровный плащ, подстилаемый плотными породами разного генезиса и состава, имеет «усредненный» по минералогическим показателям состав мелкозема и обнаруживает сходство материала на разных типах плотных пород (Градусов, Фоминых, 1971; 1977; Соколов, 1980). Роль остаточного материала древних КВ гумидного типа на породах трапповой формации в формировании педоразнообразия автономных почв Средней Сибири огромна и на сегодняшний день недостаточно оценена исследователями.

Наибольшее разнообразие таких почв существует в гумидной климатической области плато Путорана и севера Средне-Сибирского плоскогорья, где сохранилась в ландшафтах плейстоценовая мерзлота, а с ней – и в большей мере эти доплейстоценовые реликты с их характерными «субтропическими» тонами в окраске мелкозема. Так, *охристые подбуры* приурочены к верхним уровням водоразделов на маломощных почвоэлювиях траппов. На продуктах ближнего переотложения материала древних КВ (высокие террасы рек) здесь формируются *грануземы*. На восточной окраине плоскогорья в условиях светлохвойной тайги описаны *грануземы палевые*. На выположенных водоразделах более низкого уровня с «пестрым» петрографическим составом подстилающих плотных пород автономное почвообразование представлено криогидроморфными неглеевыми почвами – *криоземами* (Соколов, 1980). Вклад материала древних КВ в формирование этих поверхностных плащей весьма невелик. Южнее, в пределах средней тайги, многолетнемерзлые породы залегают за пределами профиля современной почвы, и в данных биоклиматических условиях на этой же литогенной основе криоземы сменяются мезоморфными неглеевыми почвами тяжелого гранулометрического состава, характерными для Приенисейской гумидной полосы темнохвойных лесов. Сравнительный анализ свойств этих почв с буротаежными почвами Приамурья и кислыми неоподзоленными почвами средней тайги Урала позволил все названные почвы отнести в одну надтиповую группу *бурых грубогумусовых почв* и предположительно очертить ареалы таких почв в пределах бореального пояса (Комаров, Фоминых, 1974). Таежные ландшафты на юге Среднесибирского плоскогорья существуют в условиях резкоконтинентального климата с коэффициентом увлажнения теплого времени

года ($K_{увл}$) <1 и длительного сезонного промерзания плакорных почв. Современный тип коры выветривания горных территорий Севера и Сибири – это маломощные мелкоземисто-щепнисто-глыбовые («щепнистые») образования (Таргульян, 1971). Траппы Средней Сибири практически не затронуты выветриванием.

Однако почвоведы постоянно констатировали в «низах» почвенных профилей на траппах наличие мелкоземистого материала, резко отличающегося по свойствам и цветовым характеристикам («субтропические» тона окраски) от исходных коренных пород. И трактовали это как результат современных почвообразовательных процессов, что непомерно завышало представление о почвообразующем потенциале современного климата. Немногочисленные материалы предшественников по почвам на траппах – средней светлохвойной тайги Западного Заангарья, Приангарья (Драницын, 1913; Петров, 1940) рисуют сходную картину морфологии почв: желто-бурые тона мелкозема, зернистая структура, обломки траппов одеты толстой пленкой желто-бурой глины, дресвянистый материал находится в соседстве и сочетании со «свежими» обломками траппов. «В элювии траппов железо находится в формах с различной способностью к передвижению: малоподвижной, представленной силикатным железом, и подвижной частью, выделяющейся при выветривании в виде гидратов Fe_2O_3 , придающих ржавость дресве и охристость мелкозему» (Драницын, 1913). Почвы южной сосново-лиственничной тайги Средней Сибири на элюво-делювии мощных пластовых интрузий траппов исследованы О.В. Макеевым (1959). Он отмечает, что почвообразующая толща мощностью 70-100 см (иногда – до 2 м) содержит много округлых слабовыветрелых обломков коренной породы – оолитов, иногда составляющих до 70-80% общей массы горизонта. Интересно, что профильную гумусированность сибирских почв одни исследователи (Макеев, 1959; Ерохина, 1966) связывают с увеличением подвижности фракций гумусовых веществ, другие (Соколов, 1980; и его последователи) – с процессами криотурбаций. Автономное мезоморфное ортоэлювиальное почвообразование на трапповых плато юга Средней Сибири представлено почвами, отнесенными к роду дерновых лесных железисто-алюминиевых, или *дерновых лесных железистых* (Макеев, Ногина, 1958). В географическом ряду почв на суглинисто-каменистых покровах трапповых плато Средней Сибири эти почвы – южный «преемник» *охристых подбуров* (южное «звено» автономного мезоморфного почвообразования) на остаточных продуктах древних кор выветривания пород трапповой формации.

Таким образом, на примере региона Средней Сибири показано, что «пестрота почвообразующих пород и огромные площади горных массивов обуславливают иную макроструктуру почвенного покрова заенисейской Сибири по сравнению с **равнинами** Европы и Азии. Высшим уровнем организации почвенного покрова здесь является не

биоклиматическая макроразнообразие, а литогенная макрорегиональность, обычно осложненная различными вариантами климатических мезо- и микрозональностей» (Соколов, 2004).

ЛИТЕРАТУРА:

- Воскресенский С.С. Условия сохранения древних поверхностей выравнивания на Средне-Сибирском плоскогорье // Ученые записки МГУ. Вып. 182. Геоморфология. 1956. С. 9-27.
- Горшков С.П. О генезисе и возрасте склоновых глыбово-щебнисто-суглинистых отложений севера Енисейского кряжа и севера-запада Восточного Саяна // Доклады АН СССР. 1967. Т.172. №3.
- Градусов Б.П., Фоминых Л.А. Глинистые минералы в почвах средней тайги бассейна Подкаменной Тунгуски // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. Биология и почвоведение. 1971. №6. С. 83-89.
- Градусов Б.П., Фоминых Л.А. О генезисе и особенностях минерального состава почвообразующих пород низовий Подкаменной Тунгуски. // Почвоведение и агрохимия (Проблемы и методы). Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1977. С. 63-67.
- Драницын Д.А. Почвы Западного Заангарья Енисейской губернии // Труды Почв-ботанич. Экспедиций Переселенческого управления по исследованию колонизационных районов Азиатской России в 1910 г. Ч. 1. СПб. 1913.
- Ерохина А.А. Дерново-таежные (мерзлотно-глеевые) почвы // Генезис и география почв. М.: Наука, 1966. С. 120-139.
- Комаров А.С., Фоминых Л.А. Сравнительная характеристика свойств почв с бурым профилем в некоторых регионах бореального пояса Евразии. Рук. (1,3 а.л.) депонирована в ВИНТИ от 20.03. 1974. Рег. № 657-74.
- Макеев О.В. Дерновые таежные почвы юга Средней Сибири. Улан-Уде. БКНИИ СО АН СССР. 1959. 348 с.
- Макеев О.В., Ногина Н.А. О роде дерново-лесных почв на элюво-делювии траппов // Почвоведение. 1958. №7. С.86-97.
- Пельтек Е.И. Месторождения бокситов Енисейского кряжа и Сибирской платформы // Платформенные бокситы СССР. Москва. 1971. С. 221-256.
- Петров Б.Ф. Почвенные районы южной половины Красноярского края // Почвоведение. 1940. №5. С.3-15.
- Соколов И.А. Гидроморфное неглеевое почвообразование // Почвоведение. 1980. №1. С.21-32.
- Соколов И.А. Почвы Заенсейской Сибири // Почвы – национальное достояние России. Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Кн. 2. Новосибирск. 2004. С. 216.
- Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 266 с.
- Чигир В.Г. Мерзлотно-геологические процессы в полярной пустыне как следствие сезонного льдообразования в деятельном слое // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. V. География. 1965. №2. С.67-71.

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

О.В. ШАХТАРОВА, Ю.В. ХОЛОПОВ, Е.М. ЛАПТЕВА

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар

Притундровые леса европейского Северо-Востока России приурочены, в основном, к равнинной части и образуют переход от тундровой зоны к таежным лесам в условиях сурового климата. Почвы этих территорий отражают специфику их формирования в экотонной полосе, особенно почвы, занимающие автоморфные позиции ландшафта. Несмотря на длительные почвенные исследования притундровых лесов (Атлас почв..., 2010; Пастухов, 2008; Русанова и др., 2014), многоуровневая структурная организация профиля и влияние на его строение процессов педо- и криогенеза, а также структурно-механические

особенности почв этих территорий изучены слабо, что и предопределило цель данной работы.

Исследования проводили на северо-востоке Восточно-Европейской равнины на территории Республики Коми в подзоне северной лесотундры и крайней северной тайги. Объектами были выбраны почвы, формирующиеся в автоморфных позициях на покровных суглинках. Первые два объекта находятся в подзоне северной лесотундры с островным распространением многолетнемерзлых пород (ММП): разрез I заложен в окр. ж/д ст. Сейда, разрез II – в окр. ж/д ст. Сивая Маска (Воркутинский район). Третий объект находится в подзоне крайнесеверной тайги, характеризующейся сезонным промерзанием и присутствием ММП в местах распространения крупнобугристых торфяников. Соответственно, разрез III заложен в 30 км к востоку от г. Инта (Интинский район). Названия почв даны в соответствии с (Классификация..., 2004). Структурную организацию и дифференциацию продуктов функционирования (кутанный комплекс) исследовали на основе макро-, мезо- и микроморфологических методов анализа в сочетании с изучением физико-химических показателей почв и их структурных компонентов: скелетан, общей (ОМ) и внутриведной массы (ВМ). Реологические свойства почв исследованы методом амплитудной развертки (колебательный метод). Химический анализ выполнен общепринятыми в почвоведении методами (Теория и практика..., 2006).

Разрез I заложен в березово-еловым редколесье на его юго-восточном склоне водораздельного холма. Профиль почвы имеет строение O-E-BF-CRMg-CRM-C. Присутствие в профиле почвы микропрофиля подзола и криометаморфических горизонтов с признаками оглеения позволяет отнести ее к светлоземам иллювиально-железистым глееватым. Для подзолистого горизонта характерны пластинчатые агрегаты, субпараллельная слоеватость, расположение скелетан в промежутках между агрегатами. Иллювиально-железистый горизонт BF имеет икряную структуру, ржаво-охристые пятна и полосы, округлые агрегаты с Fe-гумусо-глинистыми-пленками по краям, плотные нодули. В криометаморфическом горизонте CRMg конкреции и ожелезненные зоны свидетельствуют о частой смене здесь окислительно-восстановительных условий и повышении увлажнения. Для верхней части криометаморфического горизонта (CRMg) характерны угловато-крупитчатые агрегаты размером 2-3 мм, средней и нижней (CRM) – мелкокомковато-ореховатые размером 7-10 мм. Исследование структурной организации на макро-, мезо- и микроуровне показали, что разрушение в холодные этапы позднего голоцена глинистых текстурных горизонтов, унаследованными фрагментами которых являются обломки глинистых натеков и гумусовые педореликты, сопровождалось криогенным метаморфизмом последних с формированием современной ооидно-крупитчатой структуры, являющейся следствием протекания таких

процессов, как агрегация тонкодисперсной массы, сегрегационно-коагуляционное оструктуривание, криогенная сортировка зерен скелетан. Анализ валового состава скелетан и ВПМ свидетельствует о дифференциации профиля под влиянием Al-Fe-гумусового процесса, а также о мобилизации, миграции и аккумуляции гидроксидов железа, обусловленных процессами оглеения. Редокс-альфегумусовое подзолообразование (Тонконогов, 2010), включающее Al-Fe-гумусовое иллювиирование и криогенное ожелезнение, выражено в верхней части профиля. Криогенный метаморфизм залегающих ниже горизонтов следует отнести к позднеголоценовым периодам похолодания (Русанова и др., 2015).

Данные исследований структурных компонентов (на примере разреза I) хорошо сочетаются с характеристикой реологического поведения светлосезмов крайнесеверной тайги и лесотундры (разрезы II и III). Разрез II заложен на вершине приречного водораздельного мореного увала (бассейн р. Уса), древесная растительность представлена редкостойным ельником с примесью березы. Данной ассоциации соответствует светлосезм иллювиально-железистый поверхностно-глееватый, со строением профиля: Eg-Bg-Bcrm-CRM-B1-D. Для почвы характерно высокое содержание в профиле подвижных гумусовых соединений фульватного типа, формирующих органо-минеральные альфегумусовые комплексы. Разрез III заложен на пологом склоне водораздельного увала водно-ледникового происхождения с еловым лесом. Формула профиля: O-Eg,hi-BHF-CRM-CRMg-Dg. Почвенно-реологические исследования этих почв показали, что микроструктурные взаимодействия в профиле светлосезмов характеризуются повышенной прочностью межчастичных контактов. Усиление прочности почвенных контактов обусловлено интенсивным поступлением в профиль светлосезмов подвижных органических веществ, что сопряжено с активным протеканием глее-альфегумусовых процессов, глубоким сезонным промерзанием, а также более легким гранулометрическим составом почвообразующих пород (Холопов и др., 2018; 2018). В условиях Севера альфегумусовые соединения – основные элементы, принимающие участие в процессе микроагрегатообразования при повышенной влажности и ненасыщенности почв основаниями (Тюлин, 1958). Наиболее жесткие почвенные контакты формируются в верхней (BF горизонт) и средней (CRM горизонты) части профиля светлосезмов. Повышенная прочность почвенных контактов в данных горизонтах сочетается с низкими показателями упругости, что свидетельствует о значительной хрупкости этих контактов. Хрупкие слабо упругие контакты с низкой пластичностью обладают узким пределом деформирования, быстро разрушаются при нагрузках, слабо восстанавливаясь в течение длительного времени после их снятия.

** Работа выполнена в рамках темы НИР «Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территории Арктического и*

ЛИТЕРАТУРА:

- Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
- Классификация и диагностика почв России / Сост.: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Пастухов А.В. О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках в микроэктоне тундра-лесотундра / А.В. Пастухов // Вестник СПбГУ. Серия 3: Биология. 2008. №3. С. 117-126.
- Русанова Г.В., Денева С.В., Шахтарова О.В. Особенности генезиса автоморфных почв северной лесотундры (юго-восток Большеземельской тундры) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 145-155.
- Русанова Г.В., Шахтарова О.В., Пастухов А.В. Почвы лесных и тундровых ландшафтов северной лесотундры (бассейны рек Сейда и Хоседа-ю) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3: Биология. 2014. № 3. С. 50-61.
- Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
- Тюлин А.Ф. Органоминеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 52 с.
- Холопов Ю.В., Хайдапова Д.Д., Лаптева Е.М. Реологические свойства северотаежных автморфных и полугидроморфных криометаморфических почв европейского северо-востока России (Республика Коми) // Почвоведение. 2018. № 4. С. 439-450.
- Холопов Ю. В., Хайдапова Д. Д. , Лаптева Е. М. Физико-механические свойства автоморфных таежных почв Республики Коми (по данным реологических исследований) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2018. № 42. С. 24-53.

СЕКЦИЯ 2. Режимы лесного почвообразования



ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ ПОД РАЗНОВОЗРАСТНЫМИ КЕДРОВЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ ЛЕСНОГО УЧАСТКА ПРИМОРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

У.О. БАКИНА¹, В.А. СЕМАЛЬ^{1,2}, А.В. ИВАНОВ³

¹Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных наук, кафедра почвоведения, г. Владивосток

²Федеральный научный центр Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

³ФГБОУ ВО Приморская государственная сельскохозяйственная академия, Уссурийск

Одна из особенностей лесных почв – динамичность свойств, связанная с чувствительностью к такому фактору почвообразования как растительность. Воздействуя на почву, растительность обуславливает изменение почвенного профиля как радиально, так и латерально в зависимости от влияния других факторов почвообразования рельефа и климатических условий.

Впервые были исследованы физико-химические свойства почв (бурозёмов типичных) под разновозрастными кедровыми насаждениями лесных участков Приморской государственной сельскохозяйственной академии (Приморский край, пос. Каменушка).

Предполагается, что вариабельность растительности как фактора почвообразования влияет на физико-химические свойства почв.

Цель работы – выяснить влияние разновозрастности кедровых насаждений лесного участка ПГСХА в зависимости от качественного её состава на физико-химические параметры почв. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть изменение факторов почвообразования разновозрастных лесных участков ПГСХА.
2. Проанализировать физико-химические параметры почв и показать их изменения под разновозрастными кедровыми насаждениями.

Объектами исследования являются почвы разновозрастных участков кедровых насаждений ПГСХА, находящиеся в бассейне реки Барсуковки юго-западных отрогов гор Пржевальского (горная страна Сихотэ-Алинь), высота в пределах 160 – 220 м.н.у.м. Было заложено 4 почвенных разреза: разрез № 1 – участок с 50-летними долинными широколиственными лесами, являющихся послепожарной сукцессией, на пологом склоне; разрез № 2 – участок с 80-летними кедрово-широколиственными лесами на среднекрутом северном склоне; разрез № 3 – участок с 130-летними кедрово-широколиственными лесами на равнинном участке; разрез № 4 – участок с 200-летними кедрово-широколиственными лесами на среднекрутом северном склоне.

Методы исследования:

1. Физические свойства почв: определение гранулометрического состава по Н. А. Качинскому.
2. Химические свойства почв: определение кислотности почв (рН водное, рН солевое) стандартным методом, определение содержания общего углерода по методу И. В. Тюрина.

Было выяснено, что, несмотря на то, что рельеф играет наибольшую роль в перераспределении осадков, солнечной энергии, аккумуляции и выноса материала, в исследуемых почвах на формирование физико-химических свойств значительно влияют климат (количество поступающей солнечной радиации, количество осадков) и растительность (гумусообразование и гумусонакопление).

Все исследуемые почвы по гранулометрическому составу относятся к лёгким глинам, в иллювиальном структурно-метаморфическом горизонте гранулометрический состав утяжеляется до глины средней. Реакция среды от слабокислой до нейтральной (5.3 в поверхностном горизонте АU 80-летнего леса, 6.38 в иллювиальном горизонте ВМ2 200-летнего леса), содержание гумуса в поверхностных горизонтах высокое (от 7.15 % в горизонте АУ 50-летнего леса, до минимального 0.44 % в горизонте ВМ2 200-летнего леса).

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ ФИТОЦЕНОЗАМИ

М.П. ВОЛОКИТИН

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, г. Пущино

Гидрологическая функция почв во многом определяется произрастающей на них растительностью. С режимом влажности и способностью почв удерживать и преобразовывать воду связано большинство факторов, лимитирующих плодородие и стимулирующих деградацию и другие нежелательные процессы (Варалаи, 2001). Изучение влажностного режима почв, особенно в условиях аномальных погодных условий последних десятилетий, имеет важное теоретическое и практическое значение. В настоящей работе рассматриваются особенности динамики влажности почв в условиях землепользования, на залежи и в лесной экосистеме.

Исследования режима влажности серых лесных почв проводили на водосборном бассейне р. Любожихи, расположенного на юге Московской области. Пробные площадки

заложены на приводораздельном склоне на пашне, на средней части пологого склона на залежи, зарастающей лесом и в смешанном берёзово-сосновом лесу.

Лесные экосистемы уникальные природные образования, роль которых в функционировании биосферы трудно переоценить. Вместе с тем, данных по режиму влажности почв в этих экосистемах недостаточно (Мигунова, 2010). В настоящее время естественное возобновление леса проводится на землях сельскохозяйственного назначения, которые были выведены из оборота. В этих условиях особый интерес представляет изучение взаимодействия леса и почвы как основных компонентов лесных биогеоценозов. Агробιοценоз интересен с точки зрения максимально возможного антропогенного влияния на режимы и свойства почв, а также на формирование урожая сельскохозяйственных культур в условиях меняющейся среды (Базыкина, 2004).

Исследования по изучению режима влажности серых лесных почв, занятых различными фитоценозами, проводятся нами с 2010г. В качестве иллюстрации рассмотрим особенности формирования влажности почв в 2018г. Вегетационный сезон 2018г по климатическим показателям выдался теплым и сухим. Так, температура в мае, июне, июле и в августе была выше климатической нормы в среднем на $2,3^{\circ}\text{C}$, а сентября на $3,6^{\circ}\text{C}$. Количество осадков за летний период выпало 177 мм, или 72 % сезонной нормы (246 мм). В июне количество осадков составило 56мм, а в августе всего лишь 28мм, или 34% от нормы.

Существенное иссушение профиля серой лесной почвы было отмечено в июне, августе и сентябре. Так, для слоя 0-20см отмечены засушливые периоды и периоды с проявлением почвенной засухи, при содержании доступной влаги в почве менее 10мм. Наибольшему иссушению подвергся пахотный слой, где содержание доступной влаги снижалось до 1мм. В молодом возобновляющем лесу содержание доступной влаги также было ниже нормы и составляло 7,2-8,7мм.

В почвенной толще 0-100см наименьшее содержание почвенной влаги было на залежи, зарастающей лесом. Это связано с неблагоприятными водно-физическими свойствами эродированной серой лесной почвы. Обладая более высокой плотностью сложения, она в меньшей мере усваивает атмосферные осадки и больше испаряет влаги. Серая лесная почва, занятая смешанным лесом, характеризуется большей водоудерживающей способностью, и большим расходом влаги на эвапотранспирацию по сравнению с молодым лесом, и особенно, пашней. Так, в период максимального иссушения потери влаги из слоя 0-150см были больше, чем на пашне на 60мм. Анализ содержания влаги в профиле (0-150см) серой лесной почвы на 07.11.2018 показал, что она еще не достигла величины ее весеннего запаса.

На основании многолетних наблюдений за складывающимся влажностным режимом серой лесной почвы под различными фитоценозами сделаны следующие выводы:

1. При прочих равных условиях формирование режима влажности серых лесных почв определяется как их агрофизическими свойствами, так и особенностями фитоценозов.

2. На пашне, до посева сельскохозяйственных культур и образования сомкнутого покрова отмечено интенсивное иссушение почвы и образование на ее поверхности плотной корки мощностью 0,5-2,0см с низкой влажностью, равной 9,4%. Сельскохозяйственные растения усваивали влагу преимущественно из верхней 0-50см толщи. Избыток влаги пополнял запасы нижележащих слоев 50-100см, и особенно 100-150см, где залегают тяжелосуглинистые прослойки. Такие условия формирования профиля влажности способствуют внутрипочвенному и латеральному стоку. На пашне агротехнические мероприятия должны быть направлены на сохранение в профиле почвы капиллярно-подвешенной влаги. Для сокращения непродуктивных потерь влаги из почвы необходима предпосевная поверхностная обработка.

3. На первом этапе замены на залежи высокотравного лугового сообщества лесным отмечен более высокий расход доступной влаги из почвы (до 30-50мм), по сравнению с пашней и лесом. На формирование влажностного режима серой лесной почвы, занятой молодым подростом из древесных пород, большое влияние оказывает верховодка, которая периодически образуется на глубине 130-150см. В отсутствие почвенного травяного покрова, и при неблагоприятных агрофизических свойствах залежной почвы также отмечаются непродуктивные потери влаги из почвы.

4. Наиболее благоприятные условия регулирования влажностного режима почвы создаются в лесном фитоценозе. Здесь серая лесная почва обладает хорошей структурой, характеризуется более высокой водоудерживающей способностью, а растения используют влагу из всей почвенной толщи (0-150см). Установлено, что почва, занятая лесом, имеет более интенсивный промывной режим, что отражается в её физико-химических свойствах.

ЛИТЕРАТУРА:

Варалаи Г. Функции почв, связанные с режимом влажности // Функции почв в биосферно-геосферных системах. Материалы международного симпозиума: Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27-30 августа 2001. М.: МАКС Пресс, 2001. С.26-27.

Базыкина Г.С. Элементы водного режима и физические свойства дерново-подзолистых почв Московской области под лесом, пашней и залежью // Почвоведение, 2004, №3. С. 343-351.

Мигунова Е.С. Леса и лесные земли. Харьков: Новое слово, 2010. 364с.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ АЛАТАУСКО-ШОРСКОГО НАГОРЬЯ

О.И. ПОДУРЕЦ

Кемеровский государственный университет, г. Новокузнецк

Алатауско-Шорское нагорье занимает восточную часть Кемеровской области и составляет примерно половину ее площади. В составе нагорья выделяются Кузнецкий Алатау, Горная Шория и северная часть Абаканского хребта.

Кузнецкий Алатау занимает северо-восточную часть нагорья и подразделяется на районы. *Южный район*, обладает наибольшими абсолютными высотами, представлен системой хребтов горного узла (Междуказырский, Каратас, Тигертыш и Терень-Казырский), в центре которых располагается вершина Верхний Зуб (2178 м). Хребты имеют субмеридиональную ориентировку, распространены формы горно-ледникового рельефа с ярко выраженным альпийским характером классического карлинга. *Центральный район* охватывает бассейны Верхней, Средней и Нижней Терсей, Черного Июса и правых притоков Усы. В пределах этого района расположено Канымское нагорье, представленное системой субпараллельных хребтов и массивов субмеридионального направления, наивысшая точка гора Большой Каным (1871 м). *Северный район* (Мариинская тайга) представляет собой горнолесное низкогорье. Состоит из беспорядочно ориентированных хребтов, гряд и массивов, которые образовались в результате расчленения древнего пенеплена сетью долин рек Кундата, Золотого Китата и Яи. Характерно широкое распространение форм техногенного рельефа (карьеров, породных дражных полигонов), образованных в результате более чем столетней разработки золотых россыпей (Лавретьев, 1967; Адаменко и др., 2012).

Горная Шория занимает южную часть Алатауско-Шорского нагорья. Граница с Кузнецким Алатау условна и проводится по отрезку долин верхнего течения реки Томи и Мрассу, с запада граничит с Неня-Чумышский долом. Представляет собой древний пенеплен мел-палеогенового возраста, омоложенного плиоцен-плейстоценовыми поднятиями с высотами 800–400 метров, расчлененных речной эрозией на множество беспорядочно ориентированных возвышенностей.

В целом нагорье представлено сложной системой разнонаправленных хребтов и массивов северо-западной ориентировки. Для Кузнецкого Алатау характерна сильная асимметрия рельефа – юго-западный склон более крутой, а северо-восточный – пологий. В Горной Шории длинный и пологий северо-западный склон, короткий и крутой – юго-восточный. Такая асимметрия возникла под влиянием неравномерных неотектонических

движений и из-за неодинакового погружения территории в процессе формирования Кузнецкой и Минусинских котловин. В настоящее время наблюдается медленное тектоническое поднятие всей территории нагорья. (Адаменко и др., 2012).

Алатауско-Шорском нагорье выделяется три типа рельефа: древней поверхности выравнивания, среднегорный эрозионный и низкогорный; характеризуется наличием «таскылов» – гольцов, вершинных поверхностей среднегорного эрозионного рельефа, покрытых каменистыми россыпями и лишены растительности. Гольцовые области – остатки наиболее древнего рельефа, существовавшего до оледенения (Лаврентьев, 1967).

Горные поднятия нагорья нарушают широтную зональность и обуславливают развитие на географической широте лесостепей и степей горно-лесного и высокогорного поясов. Лесорастительный пояс среднегорной черновой тайги представлен горными подзолистыми, горными дерново-подзолистыми и горными лесными бурыми лессивированными и псевдоподзоленными почвами; высокогорный горно-тундровыми и горно-луговыми почвами с мохово-лишайниковой и кустарниковой тундрой и фрагментарными альпийскими лугами; выше 1200-1300 м расположена нивальная зона. Хотя считается, что границы поясов весьма условны и часто нарушаются инверсиями, но последовательная смена растительных и почвенных поясов просматривается (Ковалева и др., 1974; Подурец, 2013).

Гольцовый пояс располагается на высотах 1250-2100 м. Наиболее выражен в Кузнецком Алатау, в Горной Шории имеет фрагментарное распространение. Характеризуется распространением горно-тундровых растительных формаций, приуроченных к собственно гольцовым ландшафтам к каменистым россыпям и курумам. В мезопонижениях с аккумуляцией мелкозема встречаются высокогорные луговые альпийские и субальпийские растительные формации, а в замкнутых понижениях, в седловинах реликтовые моховые сфагновые болота, образовавшиеся на более низких высотах, и при общем поднятии Кузнецкого Алатау оказались в условиях высокогорий (Седельников, 1979).

Подгольцовый пояс приурочен к высотам 1250-1500 м, часто разрываемый каменистыми россыпями, спускающимися до верхней границы лесного пояса. Растительность представлена формациями «криволесья» из березы низкорослой (*Betula humilis*), труднопроходимыми зарослями стелющимися формами пихты (*Abies sibirica*), можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica*), под пологом которого развиты мохово-лишайниковые ассоциации и редкие травостой лесных и альпийских форм. Широко распространены «ерники», приуроченные к обширным пониженным элементам рельефа, и субальпийские луга, характеризующиеся видовым разнообразием (Седельников, 1979).

Почвенный покров отличается большой сложностью и фрагментарностью. Почвы не имеют сплошного распространения, чаще всего расположены отдельными куртинами, с проявлением криогенных явлений солифлюкации, перемещением продуктов выветривания и климатическими инверсиями (Петров, 1952; Ковалева и др., 1974; Подурец, 2013). Горно-луговые почвы распространены на выровненных широких понижениях, чаще на границе со снежниками, что обеспечивает их регулярное подпитывание водами с тающих снежников, но недостаточная дренированность почв не дает возможности более широкому развитию процессов оглеения и оторфянивания. Горно-тундровые почвы приурочены к замкнутым понижениям склонов и развиваются в условиях постоянного переувлажнения водами с тающих снежников; характеризуются замедленным химическим выветриванием, развитием процессов оглеения, которое проявляется в верхней части почвенного профиля, интенсивным накоплением органических веществ, преимущественно мохово-лишайникового происхождения, зольный состав которых характеризуется высоким содержанием полуторных окислов и кремнекислоты. Верхняя часть почвенного профиля оторфована.

Горнотаежный пояс представлен таежными формациями черневой тайги с осиново-пихтовыми и пихтовыми папоротниковыми, широколиственными и высокотравными лесами, а так же пихтово-еловыми и кедрово-пихтовыми травянистыми лесами. В пределах пояса выделяют горные подзолистые, горные дерново-подзолистые и горные лесные бурые типы почв, которые формируются в условиях промывного типа водного режима. Плотный ковер черневой тайги и широколиственного высокотравья, является фактором, нивелирующим гидротермические условия почвообразования. Значительная мощность снежного покрова сохраняет почву от промерзания и обуславливает движение в течение всего года подвижных растворимых компонентов. Горные лесные бурые почвы приурочены к пологим шлейфовым частям склонов с хорошим дренированием поверхности на элювиальных и элювиально-делювиальных отложениях щебнисто-суглинистого и глинистого состава, под влажными лесами черневой тайги. Горные дерново-подзолистые почвы приурочены к среднеи низкогорным ландшафтам Салаира, Горной Шории и Кузнецкого Алатау.

Интенсивное сведение лесов, пожары, техногенные факторы привели к нарушению сплошного распространения типичной черневой и к изменению экологических условий. В зоне промышленных объектов почвенно-растительный покров частично или полностью уничтожен. Менее нарушен почвенный и растительный покров только гольцового и подгольцового поясов, в связи с труднодоступностью этих территорий.

ЛИТЕРАТУРА:

Адаменко М.Ф., Андреева О.С., Андроханов В.А., Багмет Г.Н., Крапивкина Э.Д., Подурец О.И. и др. Кемеровская область. Новокузнецк, 2012. 256 с.

- Ковалева С.Р., Корсунов В.М., Таранов С.А. Лесные почвы горного окаймления Юго-Востока Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. 205 с.
- Лаврентьев А.И. К вопросу о строении и развитии долин Кузнецкого нагорья // Геология и геофизика. М.:1967. №11. С.65-73
- Петров Б.Ф. Почвы Алтае-Саянской области. Москва: Изд-во Академии наук СССР, 1952. С. 33 -187.
- Подурец О.И. Почвы горного окаймления Кузнецкой котловины // Природа и экономика Кемеровской области. Новокузнецк, 2013. С.163-171.
- Седельников В.П. Флора и растительность высокогорий Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Наука, 1979. 168 с.

ЗАПАСЫ И ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПОДСТИЛКИ В ЭТАЛОННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРНОЙ И СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЭВЕНКИИ

О.В. СЕРГЕЕВА, Л.В. МУХОРТОВА, Л.В. КРИВОБОКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

Подстилки представляют собой важный компонент лесных экосистем, играя значительную роль в формировании почв и в биологическом круговороте веществ. В отличие от материнской почвообразующей породы, они являются возобновляющимся ресурсом, чрезвычайно быстро изменяющимся в вещественном и энергетическом плане, и, таким образом, могут служить чувствительным индикатором динамического состояния биогеоценоза и современных климатических изменений (Богатырев и др., 2004).

Цель настоящей работы – установление закономерностей изменения запасов и фракционного состава подстилки для различных типов эталонных лесных экосистем северной и средней тайги Эвенкии.

Образцы подстилки были собраны на территории Эвенкийского муниципального района Красноярского края в двух точках: 1) на левом берегу р. Нижняя Тунгуска в окрестностях п. Тура (64° с.ш., 100° в.д., подзона северной тайги); 2) на территории государственного природного заповедника «Тунгусский» (60° с.ш., 101° в.д., подзона средней тайги).

В подзоне северной тайги в связи с хорошо выраженным макрои мезорельефом, определяющим неравномерное распределение солнечной радиации и осадков, образцы отбирали в нескольких точках склонов разной экспозиции (в низине; в нижней, средней и верхней частях склонов северной и южной экспозиции и на вершине сопков). В подзоне средней тайги в связи с более сглаженным макрои мезорельефом отбор образцов приурочивали к фоновым типам леса.

Все пробные площади были заложены в спелых и приспевающих насаждениях, давно не подвергавшихся воздействию пожаров. Образцы подстилки отбирали случайным методом

в 5-10 повторностях с помощью шаблона диаметром 20 см. Внутри учетной площадки срезали кустарнички, травянистые растения, живую часть мхов и лишайники. Подстилку отбирали на всю глубину, до начала минерального почвенного горизонта. Образцы подстилки высушивали до воздушно-сухого состояния и в камеральных условиях разбирали на фракции: 1) мертвые корни (древесные, кустарниковые); 2) морфологически хорошо сохранившиеся остатки опада (хвоя, листья, кора, шишки, остатки мхов, ветошь трав и т.д.), в сумме составляющие AOL; 3) растительные остатки, остающиеся на сите с диаметром отверстий 1 мм после отбора корней и компонентов AOL (AOF); 4) растительные остатки, не сохранившие анатомического строения и прошедшие через сито с диаметром отверстий 1 мм (AON) (Титлянова и др., 2012). Все отобранные фракции подстилки взвешивали с последующим пересчетом на площадь.

Фитоценозы пробных площадей в районе пос. Тура в основном представлены типичными для данного региона лиственничниками кустарничково-зеленомошными. Исключение составляют вершины сопок, где произрастают березняки голубичные лишайниково-зеленомошные. Фитоценозы пробных площадей в Тунгусском заповеднике представлены сосняком бруснично-зеленомошным, лиственничником душекиевым бруснично-зеленомошным и кедрово-елово-лиственничным душекиевым кустарничково-зеленомошным лесом. Сосняки обычно занимают пологие южные склоны, лиственничники – пологие северные, смешанные леса встречаются, в основном, на выровненных местах и в мезопонижениях рельефа, а также в поймах рек.

Наиболее высокие запасы лесной подстилки в подзоне северной тайги сосредоточены в низине (5578 ± 283 г/м²), наименьшие – на южном склоне (2320 ± 186 г/м²) и на вершине (2407 ± 225 г/м²). Одной из причин такого характера распределения запасов является различие гидротермического режима: для вершины и южного склона характерны более дренированные условия, активный слой почвы составляет более 60 см (в низине мерзлота залегает на глубине 20 см минерального слоя почвы). Кроме того, в составе живого напочвенного покрова и, следовательно, подстилки, в низине присутствуют медленно разлагающиеся сфагновые мхи. Отличие запасов подстилки на вершине от запасов на остальных пробных площадях также является следствием различия типов леса – вместо характерных для данного региона лиственничников здесь произрастают березняки голубичные лишайниково-зеленомошные (известно, что скорость разложения подстилки в лиственных лесах выше, чем в хвойных).

Склоны северной и южной экспозиции также значительно отличаются между собой по запасам подстилки (4619 ± 658 г/м² и 2320 ± 186 г/м² соответственно). Это обусловлено более низкой скоростью разложения мертвого растительного материала в связи с меньшим

количеством поступающей на склон северной экспозиции солнечной радиации, следовательно, меньшей глубиной залегания многолетней мерзлоты, более медленным оттаиванием почв, низкими температурами в ризосфере и большим увлажнением (Богданов и др., 2015).

По соотношению морфологически хорошо сохранившихся остатков опада (АОЛ), ферментированных (АОФ) и гумифицированных (АОН) растительных остатков подстилки изучаемых пробных площадей в подзоне северной тайги в целом близки – основную долю составляют ферментированные растительные остатки (63.8-67.7%). Доля гумифицированного материала в среднем составляет от 20.2 до 29,6%, при этом наибольшая величина характерна для пробных площадей, расположенных в низине. Доля свежего опада относительно остальных фракций невелика и варьирует от 5.7 до 13.7%

В подзоне средней тайги наименьший запас подстилки отмечен в сосняке бруснично-зеленомошном – 3450 ± 441 г/м². Запасы в лиственничнике душекиевом бруснично-зеленомошном и кедрово-елово-лиственничном душекиевом кустарничково-зеленомошном фитоценозе близки по величине – 5751 ± 572 г/м² и 5853 ± 759 г/м² соответственно.

Во фракционном составе основную долю, как и в подзоне северной тайги, составляют ферментированные растительные остатки (59.9%-70.6%). Однако доля морфологически хорошо сохранившихся остатков опада здесь более значительна (21.0-22.7%).

Таким образом, наибольшими запасами подстилки в подзоне северной тайги отличаются лиственничники, произрастающие в холодных переувлажненных условиях пониженных элементов рельефа. Для хорошо прогреваемых и дренированных южных склонов характерны более низкие запасы. В средней тайге запасы подстилки в лиственничниках сопоставимы с запасами, характерными для наиболее холодных среди рассматриваемых условий северной тайги (нижняя часть северного склона и низина).

Повышенная доля свежего опада в составе лесной подстилки в лиственничниках средней тайги, вероятно, является следствием более высокой продуктивности компонентов растительного покрова в данных климатических условиях, в то время как замедленное разложение в условиях северной тайги способствует аккумуляции большего количества разложившихся фракций подстилки*.

** Работа является частью комплексных исследований по проекту РФФИ № 18-04-01068 А.*

ЛИТЕРАТУРА:

- 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.
Богданов В.В., Прокушкин С.Г. Влияние экспозиции склонов на послепожарную трансформацию органического вещества в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2015. №5. С. 3-7.

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ СТЕПНЫХ ПОЧВ В КАТЕНАХ ПОД ИСКУССТВЕННЫМИ ЛЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ

О.А. СОРОКИНА

ФГБОУ ВО "Красноярский ГАУ", г. Красноярск

С позиций оптимизации ландшафтов в сухостепной зоне республики Хакасия остается многоплановая задача искусственного лесоразведения, которое имеет свои особенности, связанные со спецификой местных природных условий, особенно дефицитом влаги, а также оценки их почвозащитной роли и санитарных функций (Савостьянов, 2010). Общеэкологическое и агроэкологическое значение таких лесных насаждений многообразно и существенно. Г.Н. Высоцкий (1983) указывал, что лесоводство на степной, бывшей извечно безлесной почве, противоестественно, где природа против лесного хозяина. С одной стороны для степного лесоразведения почвы должны характеризоваться относительно благоприятными лесорастительными свойствами, в то же время интродуцированные биологически устойчивые и долговечные насаждения сами формируют почвенные процессы, определяют плодородие почв и условия своего обитания (Лобанов, 2007).

Система искусственных лесных насаждений разного видового состава, созданная почти 45 лет назад в озерной долине лечебного озера Шира республики Хакасия, занимает склон юго-восточной экспозиции крутизной 1,5-2°, обращенный к озеру. Внешне эта обширная территория приобрела сейчас вид естественной лесной экосистемы, являющейся прекрасной антропогенно природной моделью для изучения многих аспектов взаимовлияния леса и почвы. Были заложены катены и выбраны три геоморфологически сопряженные точки склона (вершина, середина, подножие) в насаждениях лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и вяза приземистого (*Ulmus humilis L.*). Для сравнения взяты участки старой залежи (целины), расположенные на контакте с лесными насаждениями. Почвы объектов исследования относятся к постагроземам аккумулятивно-карбонатным темным маломощным щебнистым среднесуглинистого гранулометрического состава.

Ранее была проведена оценка показателей потенциального плодородия почв и по ним установлена буферная роль этих насаждений с позиций расположения точек по склону (Сорокина, 2015). В данной работе поставили цель оценить показатели эффективного плодородия почв, формирующиеся под влиянием искусственных лесных насаждений. В

слоях почвы 0-10 и 10-20 см определили содержание общей влаги термовесовым методом, нитратный азот с дисульфифеноловой кислотой в модификации Шаркова, аммонийный азот с реактивом Несслера, подвижный фосфор и обменный калий по Чирикову. Провели анализ водной вытяжки общепринятым методом. Повторность отбора и определения пятикратная. Рассчитали коэффициенты пространственного варьирования свойств почв.

В различные по погодным условиям годы содержание общей почвенной влаги может варьировать от 18-20% в весенние месяцы до 5-9% в июле августе. Во второй половине вегетационного периода отмечается острый дефицит влаги, когда влажность почвы может быть ниже влажности завядания. Почва под насаждениями вяза характеризуется самой высокой влагообеспеченностью в сравнении с целинными участками на всех точках катен. Под лиственницей влажность почвы значительно меньше за счет максимального потребления влаги на десукцию интенсивно развивающимися древостоями. Хвойные виды, за счет большей транспирации листовой поверхностью и неглубоко идущей корневой системы на щелочистых почвах вызывают более иссушающее воздействие. Кроны лиственницы задерживают часть осадков, влага не поступает на поверхность почвы, фрагментарная подстилка не способствует ее сохранению. У травянистых растений старых залежей транспирационные коэффициенты существенно ниже, а физическое испарение с задернованной поверхности почвы меньше, что приводит к увеличению содержания влаги. Пространственное варьирование почвенной влаги незначительное, несколько увеличивающееся в почве под лесными насаждениями.

Обеспеченность почвы элементами питания является одним из диагностических признаков почвообразования и оценки условий питания травянистых и древесных растений. Потребность в питательных веществах интенсивно развивающихся искусственных древесных культур особенно велика в начальные фазы вегетации, когда образуется листовая поверхность. Травянистая растительность использует максимум питательных веществ в период активного нарастания вегетативной массы в июне месяце. В верхней точке катены на целине содержание нитратного азота ($N-NO_3$), аммонийного азота ($N-NH_4$), подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) самое высокое. Вниз по склону отмечается их уменьшение. Целинные участки отличаются довольно богатым травяным покровом, поэтому биогенная аккумуляция элементов выше, что приводит к повышению обеспеченности почвы элементами питания по сравнению с лесными насаждениями. Под лиственницей максимальное содержание $N-NO_3$ и $N-NH_4$ отмечено в верхней и срединной точках катены. Здесь не проявляется трансэлювиальный эффект, напротив, отмечается аккумуляция минеральных элементов питания. Обеспеченность почвы P_2O_5 всех объектов очень низкая, а

K_2O высокая, что связано с особенностью почвообразующих пород региона. Характерна незначительная аккумуляция этих элементов на вершине и в середине склона в катенах под лесными насаждениями. Максимальное количество P_2O_5 обнаружено в средней части катены под лиственницей. Активное нитратонакопление за весь период вегетации выявлено в почве целинного участка (11,2-12,8 мг/кг почвы) и под лиственницей (13,4-14,4 мг/кг почвы).

Известно, что свойства почв особенно сильно варьируют в пространстве под лесными насаждениями. Своеобразную комплексность почв в лесу можно связывать, прежде всего, с различным характером и степенью воздействия растительности на почву. Более высокая неоднородность свойств почв наблюдаются под лесными насаждениями в сравнении с целиной, что вполне закономерно. Самые высокие коэффициенты пространственной вариации установлены по содержанию нитратного азота, составляющие до 32%. Существенно ниже пространственная вариабельность подвижного фосфора и обменного калия.

По сумме солей почвы всех объектов относятся к незасоленным. Содержание катионов натрия в почвах очень низкое, что свидетельствует об отсутствии процессов осолонцевания почв. Кальций, магний и натрий присутствуют, преимущественно, в виде сульфатов. Общая щелочность почв колеблется от 0,060 до 0,080%. Доля магния в составе водной вытяжки довольно существенная, особенно в почве под лиственницей. Общая щелочность, содержание катионов (Ca, Mg и Na), хлор-ионов и сульфат-ионов больше в почве верхних точек катены, с уменьшением в средней и нижней части склона. Под лиственницей более отчетливо выражены процессы освобождения профиля почвы от солей, что свидетельствует о положительной экологической роли этого вида насаждений. Искусственные лесные насаждения не способствуют подтягиванию и аккумуляции солей в почве.

Обобщенные показатели эффективного плодородия почв под искусственными лесными насаждениями свидетельствуют о максимальной биогенной аккумуляции элементов питания в почве вершины и середины склона, где они выполняют буферную роль. Искусственные насаждения лиственницы сибирской и вяза приземистого в сухой степи республики Хакасия приводят к формированию экологически устойчивых биоценозов, которые постепенно превращаются в более стабильную и самоконтролируемую систему, приобретающую сходство с природными экосистемами. Подобные ландшафты требуют особой охраны и рационального природопользования.

ЛИТЕРАТУРА:

Высоцкий Г.Н. Защитное лесоразведение. Избр. тр. :Наук. Думка. Киев, 1983. – 208 с.

Лобанов А.И., Вараксин Г.С., Савостьянов В.К. Роль защитных лесных насаждений Ширинской степи (Хакасия) в предотвращении опустынивания. //Матер. Межд. научн. конф. 16-19 мая 2006 г. – Абакан, 2007. – С. 87-94.
Савостьянов В.К. О деградации почв в регионах Средней Сибири за последние 30-35 лет. //Сб. "Совершенствование ведения сельскохозяйственного производства на опустыненных землях аридной зоны". Абакан, 2010. – С. 89-95.
Сорокина О.А. Трансформация плодородия почв под лесными насаждениями на различных элементах рельефа. //Матер. VI Всерос. конф. с межд. участием "Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения". 14-18 сентября 2015г. Сыктывкар, 2015. С. 273-275.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ИЗМЕНЕНИИ СОЛЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕРНОЗЕМОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Ю.И. ЧЕВЕРДИН¹, М.Ю. САУТКИНА²

¹НИИСХ ЦЧП им.В.В. Докучаева

²ВНИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии

Лесные полосы являются мощным фактором, изменяющим как водный режим агроландшафта, так и миграцию потока веществ по почвенному профилю. Нами было высказано предположение о возможном изменении солевых характеристик под влиянием древесных культур, что нашло свое подтверждение при оценке активности иона натрия по профилю почвы.

Исследования проведены в НИИСХ ЦЧП им.В.В. Докучаева. Объектом исследования являлась широкая лесная полоса №40 1903 года посадки.

Послойное распределение активности ионов натрия в пастах, отражающей содержание легкорастворимых солей, в почвах ключевого участка представлено на рис. 1. Поверхностные горизонты почв всего ключевого участка до глубины 120 см являются незасоленными, активность ионов натрия в них при влажности 50% чаще всего меньше 2 ммоль/л, возрастая до 10 ммоль/л только глубже 100 см. Почвы пашни остаются незасоленными на всю глубину опробования до 2 м. Вместе с тем, нижние горизонты почв под лесополосой на глубине 150-200 см оказались слабозасоленными.

В пахотном горизонте черноземов межполосного пространства активность натрия равнялась 0,22 – 0,24 ммоль/л. Почва под лесной полосой была также незасоленной, но активность ионов натрия оказалась выше (до 0,54-0,72 ммоль/л). Таким образом, уже в верхних горизонтах почвы наблюдается тенденция накопления натрия в почвенных растворах черноземов под искусственными древесными насаждениями, и эта разница составляет 2-3 кратную величину. Аналогичная картина сохраняется до глубины 120 см.

В нижележащих горизонтах почвы характер засоления резко изменяется. Отмечается увеличение засоленности почв под лесом на фоне незасоленных почв пашни. В черноземах

под лесной полосой на глубине 120-150 см активность ионов натрия возрастает до 4-20 ммоль/л достигает максимальных значений 30-50 ммоль/л на глубине 170-200 см, оставаясь менее 2 ммоль/л в почвах пашни.

Анализ изолиний пространственного распределения показывает на локализацию повышения значений активности ионов натрия с западной наветренной стороны лесной полосы. На западной опушке и до центра лесной полосы активность ионов натрия по всему исследуемому профилю почвы 0-200 см превышала аналогичный показатель на восточной.

Максимальные значения активности ионов натрия в почвах отмечаются в центральной части древесного лесонасаждения. На глубине почвы 170 – 200 см она составляла 37-42 ммоль/л. Эти значения существенно выше показателей, отмечаемых в восточной наветренной части лесной полосы и, особенно в западной заветренной части. Активность иона натрия равнялась соответственно в среднем 35 и 18 ммоль/л. На прилегающем к западной стороне участке поля засоленность почвенного профиля была близка к значениям, отмеченным в пашне, прилегающей к лесной полосе с восточной части. В первом случае количество натрия составляло 0,22-0,94, во втором 0,12-0,25 ммоль/л. Иными словами, накопление солей в нижних горизонтах почв отмечается строго под лесополосой с максимумом в центральной ее части и резким переходом к фоновым незасоленным черноземам сразу за ее пределами. Этот вывод иллюстрируем двумерными диаграммами распределения активности ионов натрия вдоль трансект, одна из которых пересекает участок поперек лесополосы, а другая – вдоль осевой ее линии.

Обращает на себя внимание большая пестрота в активности иона натрия в почве на рассматриваемых объектах. При этом максимальный коэффициент вариации отмечается в почвах межполосного пространства. Его величина колебалась в пределах 89,3-198,8%. Под лесной полосой коэффициент вариации был заметно ниже – 35,1-73,7%. Некоторое увеличение наблюдается в горизонте почвы на глубине 150-200 см, где он равен 80,3-166,2%.

Нельзя оставить без внимания возможное изменение химического состава грунтовых вод под влиянием произрастающей растительности. Так, исследованиями, проведенными в Каменной Степи, показана возможность существенного увеличения минерализации подземных вод под длительно растущими лесными полосами. В результате длительных наблюдений отмечена аномально – высокая их минерализация, достигающая значений 11 г/л в скважине, расположенной под широкой лесной полосой. Детальные исследования, проведенные в 2001 – 2002 гг. показали изменения химического состава грунтовых вод в зависимости от качественного состава листового опада. По мнению авторов, распашка и облесение склонов может существенно изменить направленность геохимического

массопереноса веществ поверхностных и подземных вод. Это может привести к резкому ухудшению их качественного состава.

Таким образом, проведенные нами исследования под старовозрастными лесными полосами позволяют констатировать активизацию процессов соленакопления. Наиболее активно эти процессы протекают в центральной части лесонасаждения. Происходит трансформация незасоленных фоновых черноземов в глубокозасоленные. Пахотные аналоги и почвы залежи остаются формально незасоленными.

СЕКЦИЯ 3. Факторы и механизмы динамики лесных почв



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ КАРЕЛИИ*

Г.В.АХМЕТОВА

Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», г. Петрозаводск

В настоящее время антропогенная деятельность, как и предсказывал В.В. Вернадский (1965), приобрела масштаб, сравнимый с действием природных процессов. Происходит химическое преобразование окружающей среды, ее геохимический фон достаточно резко изменяется (Касимов, Власов, 2012, Reimann, Garrett, 2005). Особенно это свойственно почве, которая способна геохимически аккумулировать компоненты загрязнений и выступает в качестве природного буфера, контролирующего перенос химических элементов и соединений в экосистеме (Мотузова, Карпова, 2013).

На территории Карелии мало крупных промышленных предприятий, способных оказывать негативное влияние на компоненты экосистем, поэтому слабое антропогенное воздействие на территории исследования позволяет выявить фоновое состояние химического состава почв. Тем не менее, в последние годы, происходит интенсификация рубок леса и все меньше остается территорий с естественным почвенным покровом, что приводит к изменению круговорота химических элементов (Ahtiainen et al., 1997, Richardson et al, 2017, Steffen et al., 2005). Это обуславливает необходимость систематизации имеющихся результатов о химическом составе фоновых почв региона.

Главная геохимическая особенность почв Карелии связана с тем, что на ее территории преобладают горные породы кислого химического состава – гранитогнейсы, гнейсограниты, гнейдиориты и граниты, которые богаты кремнеземом и алюминием, но бедны металлами и почти не содержат микробиогенные элементы.

Среди почвообразующих пород широко распространены песчаные и супесчаные моренные отложения последнего (Валдайского) оледенения, а также флювиогляциальные и озерно-ледниковые песчаные отложения, реже встречается элюво-делювий коренных пород. На данных породах, в основном, формируются почвы альфегумусового раздела – подзолы и подбуры, которые занимают 2/3 территории (Морозова, 1991, Федорец и др., 2000). В среднетаежной подзоне наиболее распространены подзолы иллювиально-железистые, в меньшей степени подзолы иллювиально-гумусовые, среди подбуров преобладают оподзоленные и иллювиально-гумусовые подтипы.

Данные почвы имеют легкий гранулометрический состав и близкие характеристики по физико-химическим свойствам – кислую реакцию, ненасыщенны основания, отличаются значительным перераспределением попочвенному профилю азота и органического вещества.

Для альфегумусовых почв Карелии почв характерно высокое содержание кремния (более 70-80%) и алюминия (10%) и пониженное содержание остальных элементов. В подзолах, по сравнению с подбурами, отмечается более высокое содержание кремнекислоты, особенно в подзолистых горизонтах, в них, за счет выноса большинства других элементов, содержание оксида кремния достигает 80% и более. Особенно этот процесс характерен для подзолов иллювиально-железистых.

Формирующаяся на поверхности почв мощная (5-10 см) лесная подстилка служит главным аккумулятором биогенных элементов, ее состав сильно зависит от типа леса и характера напочвенного покрова.

Рассчитанные коэффициенты элювиально-иллювиальной миграции в подзолах свидетельствуют о сильной контрастности почвенного профиля по валовому составу, особенно сильно перераспределено железо, магний, фосфор, титан. При этом элювиально-иллювиальный тип распределения по профилю подзолов наиболее сильно выражен для алюминия, железа и фосфора. Наблюдается снижение содержания с глубиной титана и увеличение кальция, калия, магния. Для подзолов иллювиально-гумусовых, по сравнению с подзолами иллювиально-железистыми, отмечается меньшие значения содержания кремнекислоты, более высокая концентрация железа и алюминия, особенно в иллювиальном горизонте.

В подбурах содержится меньше кремния (менее 70%) и немного больше железа (3-4%), алюминия (до 15%), щелочных и щелочноземельных элементов. Для них характерно более монотонное распределение по профилю элементов. Не происходит значительного перераспределения титана по профилю, что свидетельствует о слабой преобразованности первичного материала. Только в оподзоленных подтипах подбуров наблюдается слабовыраженное элювиально-иллювиальное распределение оксидов.

Большинство микроэлементов в изучаемых почвах, по сравнению с кларками почвы (Виноградов, 1957), являются дефицитными, рассчитанные коэффициенты концентрации низкие, значительно меньше единицы. Тем не менее, выявлено, что подбуры содержат большее количество меди, цинка, кобальта и примерно равные количества остальных микроэлементов. Подзолы иллювиально-железистые характеризуются самыми низкими коэффициентами концентрациями микроэлементов.

Распределение микроэлементов по профилю почв соотносится с распределением макроэлементов. В лесных подстилках отмечается аккумуляция биогенных микроэлементов. Рассчитанные элювиально-иллювиальные коэффициенты показали, что очень активно накапливается в лесной подстилке марганец $K_{э}=3-7$, свинец – $K_{э}=2-4$ и цинк – $K_{э}=2-3$.

Наблюдается значительно более высокий уровень содержания марганца, меди и никеля в подстилках подбуров, по сравнению с подзолами, что может быть связано с особенностью растительного покрова и опада

В минеральной части подзолов распределение микроэлементов носит четко выраженный элювиально-иллювиальный характер. В подбурах профильная дифференциация содержания микроэлементов носит, в большинстве случаев, равномерно-аккумулятивный характер, то есть почва, по сравнению с породой, обогащена микроэлементами. Только в оподзоленных подбурах наблюдаются слабовыраженные процессы перераспределения микроэлементов по горизонтам.

Таким образом, выявлены основные геохимические особенности накопления и перераспределения макрои микроэлементов в альфегумусовых почв среднетаежной подзоны Карелии, которые определяются, в основном, почвообразующими породами и направленностью почвообразовательного процесса.

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

**Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».*

ЛИТЕРАТУРА:

- Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. М.: Наука, 1965. 374 с.
- Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах 2-е изд. М./: Изд-во АН СССР, 1957.
- Касимов Н. С., Власов Д. В. Технофильность химических элементов в начале XXI века // Вестник Московского университета. Серия география. 2012. № 1. С. 15–22.
- Морозова Р.М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука. 1991. 184 с.
- Мотузова Г. В., Карпова Е. А. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. Издательство Московского университета Москва, 2013. 303 с.
- Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Бахмет О.Н. Почвенный покров лесных ландшафтов Карелии и его антропогенная динамика. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2000. 83 с.
- Ahtiainen M. et al. Effect of harvesting and scarification on water and nutrient fluxes/The Finnish forest research institute, research papers 648, Joensuu research station, 1997. 38 p.
- Reimann C, Garrett RG. Geochemical background concept and reality // Sci Total Environ. 2005 Nov 1;350(1-3):12-27.
- Richardson J. B. , Petrenko C. L. , Friedland A. J. Base cations and micronutrients in forest soils along three clear-cut chronosequences in the northeastern United States // Nutrient Cycling in Agroecosystems. November 2017, Volume 109, Issue 2, P. 161–179.
- Steffen W., Sanderson A., Tyson P., Jäger J., Matson P., Moore B., Oldfield F., Richardson K., Schellnhuber H. J., Turner B. L., Wasson R. J. Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure. Verlag-Berlin-Heidelberg: Springer, 2005. 336 p.

ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫЕ ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В МОСКОВСКОМ УЧЕБНО-ОПЫТНОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ

А.А. БАРАНЕНКОВА, Е.Н. КРЫЛОВА, Е.С. ЮГАЙ, И.О. КОРОЛЬКОВА,
К.А. ПЕТРУХИН

МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, факультет лесного хозяйства, лесопромышленных технологий и садово-паркового строительства, Мытищи
E-mail: n.6661@yandex.ru

После засухи 2010 года насаждения Московского региона находятся в плачевном состоянии. Такая ситуация заставила задуматься о необходимости изучения устойчивости еловых лесов Московской области.

Целью работы являлось изучение почвенных факторов, влияющих на состояние и устойчивость еловых насаждений.

Объектом исследования послужили почвы и насаждения Свердловского участкового лесничества Московского учебно-опытного лесничества.

На основании изученных лесоустроительных материалов в сочетании с актуальными космоснимками и натурными обследованиями в среде ГИС было выбрано два участка, сходных по лесорастительным условиям и таксационным показателям. Преобладающей породой на этих участках является ель европейская (*Picea abies L.*) с небольшой примесью лиственных (берёза пушистая (*Betula pubescens L.*) и тополь дрожащий (*Populus tremula*)). На первом участке почти весь древостой пережил засуху 2010 года без потерь. На втором участке ель практически полностью выпала.

Для решения поставленных задач была выполнена подробная топосъёмка рельефа с геопривязкой существующего древостоя и его полным таксационным описанием по технологии Field-Map (<http://www.field-map.com>). В дополнение к изучению древостоя отдельно определялось проективное покрытие и породный состав подроста, подлеска и живого напочвенного покрова. Почвенные изыскания включали себя изучение морфологических, водно-физических и агрохимических свойств почв. Кроме того, со дна разрезов выполнялось шнековое бурение на глубину ещё на 1,5 метра. При помощи бура было выяснено, что на территории с живым еловым насаждением на глубине до 3,5 метров дополнительных источников воды (верховодка, залегание грунтовых вод) не обнаружено.

В процессе работ было выявлено, что почвы исследованных участков (дерново-подзолистые с разной степенью оподзоливания) обладают схожими свойствами. Основное отличие заключалось в том, что на участке с сохранившимся ельником на глубинах от 40 до 95 см в суглинистых горизонтах обнаруживались песчаные прослойки разной

мощности. Выявленная зона смены гранулометрического состава всегда имела заметные следы оглеения. В зоне сухостойного ельника такой особенности в строении почвенного профиля не отмечалось.

Обнаруженное чередование слоёв с разным гранулометрическим составом способствует накоплению так называемой капиллярно-посаженной влаги. Такая влага формируется в нижней части мелкозернистого слоя при подстилании его слоем более крупнозернистым. Это происходит из-за изменения размеров капилляров на поверхности раздела тонкой грубодисперсных горизонтов, где возникают дополнительные нижние мениски, что и способствует удержанию некоторого количества капиллярной воды. Поэтому, вместо равномерного убывания влаги вниз по профилю в слоистом грунте происходит сохранение и накопление влаги.

В исследованных почвах были обнаружены подходящие условия для накопления капиллярно-посаженной влаги. В нормальных условиях накопление капиллярно-посаженной влаги в пределах корнеобитаемого слоя способствует появлению оглеения, что может снижать продуктивность древостоев. Однако, в экстремальных климатических условиях (засуха 2010 года) именно наличие в почве дополнительного запаса влаги позволило выжить исследованным насаждениям, тогда как еловые насаждения, произрастающие на почвах, где не было условий для накопления капиллярно-посаженной влаги, почти полностью погибли.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Н.Н. БОНДАРЕНКО, Е.М. ЛАПТЕВА, Е.В. КЫЗЬЮРОВА.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Одним из основных факторов изменения таежных экосистемы являются рубки главного пользования. В последнее время их влиянию на почвы хвойных лесов Республики Коми уделяется особое внимание. Рассмотрены специфика изменения после промышленных рубок почвенного (Лаптева и др., 2015) и растительного покровов (Дёгтева, 2002; Дымов и др., 2012), почвенного органического вещества (Дымов, Милановский, 2014) и комплекса водорастворимых органических соединений (Лаптева и др., 2015); температурного режима почв (Дымов, Старцев, 2016) и их микробных сообществ (Виноградова и др., 2014). Гуминовые (ГК) и фульвокислоты (ФК) – важнейшие профилообразующие компоненты в почвах (Безносиков, Лодыгин, 2010), их строение и свойства находятся в тесной взаимосвязи

с количеством и качеством поступающего органического вещества и условиями его минерализации и гумификации (Орлов, 1990). Однако закономерности изменения высокомолекулярных компонентов органического вещества в подзолистых почвах в процессе естественного лесовосстановления после рубок главного пользования практически не исследованы, что и предопределило цель данной работы.

Объектами исследования послужили почвы коренного ельника черничного (ПП1) и разновозрастных производных березняков, сформировавшихся после рубок главного пользования, проведенных в зимний период 2001/2002 (ПП2) и 1969/1970 гг. (ПП3) на территории Республики Коми в подзоне средней тайги. Почвенный покров ключевых участков представлен подзолистыми текстурно-дифференцированными почвами, сформированными на крупнопылеватых покровных суглинках. Более полное описание участков и их почв представлено в ряде работ (Путеводитель..., 2007; Лаптева и др., 2015; Дымов и др., 2012, 2014, 2016).

Препараты ГК и ФК выделяли из воздушно-сухих образцов верхних горизонтов почв (подстильно-торфяного и подзолистого) двукратной экстракцией смесью 0.1 М NaOH и 0.1 М Na₄P₂O₇ (рН 13) при соотношении почва: раствор 1:10. Разделение и очистку полученных препаратов проводили в соответствии с (Орлов, Гришина, 1981). Элементный состав гумусовых кислот определяли на CHNS-O-элементном анализаторе EA 1110 (Италия), аминокислотный состав их гидролизатов (6 М HCl) – на аминокислотном анализаторе ААА Т339 (Microtechna Praha). Спектры ¹³C-ЯМР регистрировали на спектрометре DRX-500 фирмы Bruker на частоте 125,76 МГц после растворения препаратов в NaOH/D₂O. Относительное стандартное отклонение результатов 10-кратного ручного интегрирования не превышает 3%.

Данные ¹³C-ЯМР-спектров, аминокислотного и элементного состава гумусовых кислот подзолистых почв коренного ельника черничного (ПП1) не противоречат литературным (Орлов, 1990; Лодыгин и др., 2007; Василевич, Безносиков, 2015). В ГК верхних горизонтов почв контрольного участка (ПП1) содержание углерода варьирует от 50.96 до 56.58%, азота – от 2.80 до 4.76%, водорода – от 4.06 до 5.71%, кислорода от 33.37 до 39.61%. Для ФК характерно более низкое содержание C, N и H (47.41-51.41%, 0.88-1.81%, 2.88-4.73% соответственно), но концентрация кислорода и соотношение O:C существенно выше по сравнению с ГК. В препаратах ГК, выделенных из почв вырубков (ПП2, ПП3), отмечено возрастание доли азота в 1.3-1.7 раз, по сравнению с почвами коренного ельника (ПП1). Это может быть связано со сменой растительных сообществ (Дымов и др., 2012). Более высокие значения соотношения H:C и увеличение (в 4.5-4.8 раза) суммарного содержания

аминокислот в гидролизатах препаратов гумусовых кислот, выделенных из почв разновозрастных производных березняков (ПП2, ПП3), свидетельствуют об относительном возрастании в структуре ГК доли алифатических структур. В составе гидролизуемой фракции гумусовых кислот преобладают нейтральные аминокислоты, доля которых составляет от 43.4 до 61.8% от всех идентифицируемых. В процессе естественного лесовосстановления в гидролизатах ГК прослеживается существенное снижение доли кислых и незначительное увеличение основных аминокислот.

По данным ^{13}C -ЯМР-спектров препараты ГК участка ПП2 (молодой березняк) существенно отличаются по относительному содержанию углерода алифатических и ароматических фрагментов (отношение $\text{Ar}/\text{Al}=0.39$) по сравнению с препаратами ГК целинного елового леса (ПП1) и средневозрастного березняка (ПП3) (отношение Ar/Al 0.45, 0.69 соответственно). ГК почвы молодого березняка характеризуются низкой степенью ароматичности за счет более развитой гидролизуемой части макромолекулы. Тем не менее в препаратах ГК, выделенных из лесных подстилок ельника черничного (ПП1) и молодого березняка (ПП2), сумма С,Н-алифатических и ароматических фрагментов и отношение С,Н-алкил/ О,Н-алкил в макромолекулах ГК сопоставимы. Естественное лесовосстановление, сопровождающееся сменой хвойной пород на лиственные, существенно влияет на структурные особенности ГК почвы средневозрастного березняка (ПП3). Эти изменения прослеживаются в: увеличении доли ароматических фрагментов, снижении суммы алифатических фрагментов и возрастании степени ароматичности макромолекул ГК. Для препаратов ГК характерно увеличение доли ароматических фрагментов.

Таким образом, сплошнолесосечные рубки еловых лесов, формирующихся в подзоне средней тайги на подзолистых текстурно-дифференцированных почвах суглинистого гранулометрического состава, оказывают непосредственное влияние на изменение состава и структуры гумусовых кислот. Смена пород и изменение экологических условий на вырубках обуславливают изменение элементного состава гумусовых веществ и упрощение строения их макромолекул, о чем свидетельствует возрастание соотношения $\text{H} : \text{C}$, увеличение суммарного содержания аминокислот в гидролизатах ГК и ФК, а так же результаты ^{13}C -ЯМР-спектроскопии.

ЛИТЕРАТУРА:

- Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Высокомолекулярные органические соединения в почвах // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2010. – Вып.1. – С. 24-30.
- Василевич Р.С., Безносиков В.А. Аминокислотный состав гумусовых веществ тундровых почв // Почвоведение. – 2015. – №6. – С. 685-692.
- Виноградова Ю. А., Лаптева Е. М., Перминова Е.М., Новаковский А.Б., Анисимов С.С. Микробные сообщества подзолистых почв на вырубках среднетаежных еловых лесов // Известия Самарского НЦ РАН. – 2014. – Т.16, № 5 – С. 74–80.

- Дегтева С.В. Лиственные леса подзон южной и средней тайги Республики Коми: Автореф. дис. доктора биол. наук. – Сыктывкар, 2002. – 37 с.
- Дымов А. А., Милановский Е. Ю. Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. – 2014. – №1. – С. 39–47.
- Дымов А. А., Старцев В.В. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошнолесосечных рубок // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 599–608.
- Дымов А. А., Бобкова К. С., Тужилкина В. В., Ракина Д. А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // Лесной журнал. – 2012. – № 3. – С. 7–18.
- Лаптева Е. М., Бондаренко Н. Н., Виноградова Ю. А., Кубик О. С., Шамрикова Е. В., Пунегов В. В. Влияние сукцессии растительного покрова на состав водорастворимых органических соединений в почвах вырубок // Известия Самарского НЦ РАН. – 2015. – Т.17, № 4(4). – С. 673–680.
- Лаптева Е. М., Втюрин Г. М., Бобкова К. С., Каверин Д. А., Дымов А. А., Симонов Г. А. Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 5. – С. 64–76.
- Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А., Чуков С. Н. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв. – СПб.: Наука, 2007. – 145 с.
- Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.
- Орлов, Д.С. Гуминовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
- Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги). – Сыктывкар, 2007. – 84 с.

ПОСТПИРОГЕННЫЙ УГОЛЬ КАК ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТАЁЖНЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

С.В. БРЯНИН, Е.С. СУСЛОПАРОВА, Д.А. МОЛЧАНОВ, Е.Р. АБРАМОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Благовещенск

Бореальные экосистемы считаются основным стоком углерода среди экосистем суши и важным регулятором парниковых газов. Пожары, как наиболее значимый, периодически повторяющийся экзогенный фактор изменяют экологические функции этих лесов, оставляя после себя значительные количества продуктов горения. Среди последних, уголь является наиболее долговременным и неоднозначным последствием пожара (Lehmann, 2007; Wardle et al., 2008).

Лесные пожары на Дальнем Востоке и в Сибири являются огромным бедствием и одновременно фактором динамики лесных экосистем (Goldammer and Foryaev, 1996). Поскольку почвы бореальных лесов являются главным резервуаром углерода, то особого внимания заслуживает влияния пирогенеза на органическое вещество почв. Многими исследованиями установлено, что постпирогенным изменениям подвергаются лабильные свойства почв: $pH_{\text{водн}}$, состав обменных катионов, валовых и подвижных форм азота, фосфора и калия (Краснощеков, 2019), изменяются гумусовые свойства почв (Цибарт and Геннадиев, 2008), установлена положительная взаимосвязь изменённых свойств почв с аккумуляцией

микроэлементов в поверхностных горизонтах лесных почв (Bryanin and Sorokina, 2019). При достаточно активном изучении постпирогенных почв, вопросам роли постпирогенного угля в почвообразовании в бореальных лесах уделяется недостаточно внимания.

Постпирогенный уголь образуется в результате обугливания древесных остатков при лесных пожарах средней и низкой интенсивности, в условиях недостатка кислорода при температуре не выше 800° С. Этот продукт горения считается частью углеродного цикла и участвует в гумусово-аккумулятивном процессе в почвах бореальных лесов (Preston and Schmidt, 2006; Santín et al., 2015). С одной стороны, углерод в форме угля является долговременным малодинамичным пулом (Lehmann, 2007), с другой, находясь в непосредственном контакте с почвой, микробиотой и растительными остатками уголь активно участвует в процессах биодеструкции, приводя к потерям органического вещества в почвах холодных лесов (Wardle et al., 2008). Постпирогенный уголь, в зависимости от условий среды, сохраняется в почвах до 11000 лет и не является инертным компонентом как считалось ранее (Lehmann, 2007).

В данной работе мы оцениваем концентрации угля в почвах постпирогенных лиственничников Приамурья, а также влияние постпирогенного угля на почвенные свойства.

Исследования проведены в зоне светлохвойной тайги в предгорьях хр. Тукурингра (Верхнее Приамурье) 53°32'02" С, 126°39'27" В. Лес смешанный сосново-лиственнично-березовый, нарушенный низовым пожаром средней интенсивности в 2007 году. Почвы - бурозёмы таёжные. Исследовали поверхностный слой почвы 0-5 см. Образцы почв отбирали цилиндрами в 100 кратной повторности. В образцах определяли влажность, рН_{водн.}, содержание NH₄⁺, подвижного фосфора. Содержание угля определяли по методу "СТО375": последовательные экспозиции в муфельной печи при 375 и 450° С (Gustafsson et al., 2001).

Содержание угля в поверхностном (0-5 см) слое бурозёмных почв варьировало от 0 до 25,4 мг/кг почвы, при среднем значении 8,3 мг/кг. Коэффициент вариации превысил 54% свидетельствуя о высоком пространственном варьировании содержания угля в почвах. Реакция среды в водной суспензии изменялась от слабокислой до нейтральной: рН_{водн.} от 5,6 до 7,1 при среднем значении 6,3. Почвенная влажность так же значительно варьировала от 16,5 до 71,6% при среднем значении 33,7%. Содержание аммонийного азота изменялось в пределах от 0,5 до 21,3 мг/кг почвы, при среднем значении 6,4 мг/кг. Среди изучаемых показателей содержание подвижных форм фосфора отличалось наибольшим варьированием: от 7,8 до 93,4 мг/кг почвы, среднее значение 29,6 мг/кг.

По результатам исследований выявлена положительная взаимосвязь угля с кислотностью почв, влажностью и содержанием подвижного фосфора. При этом содержание

угля в почвах после пожара не влияет на количество аммонийных форм азота (NH_4^+). Нами получены первые полевые доказательства позитивной взаимосвязи между содержанием угля и некоторыми химическими свойствами почв. Положительная связь $\text{pH}_{\text{водн}}$ с количеством угля в почвах объясняется окислением органического вещества в почве и на её поверхности, что, наряду с углём, приводит к образованию щелочных оксидов. Позитивная связь угля и влажности почв вероятнее всего обусловлена обилием пор в структуре угля, и его способностью удерживать воду. Уголь способен сохранять пористость длительное время, а, следовательно, удерживать большое количество влаги на единицу массы, тем самым усиливая водоудерживающую способность лесных подстилок и верхних горизонтов почв. Высокое содержание доступного фосфора в присутствии угля может быть связано с его накоплением в углях, образованных при невысоких температурах, когда фосфор не улетучивается при горении (Pingree et al., 2016). Такие низкотемпературные режимы горения характерны для низовых пожаров Приамурья. С другой стороны фосфор может связываться с Ca и Mg, временно формируя стабильные фосфатные соединения, которые долгое время удерживаются углём, постепенно органические кислоты почв высвобождают растворимы фосфаты. Таким образом, содержание подвижного фосфора имеет положительную связь с содержанием угля благодаря низким температурам образования последнего, и минимальными газообразными потерями фосфора в процессе горения. Вероятнее всего Ca и Mg фосфаты извлекаются 0,2 нормальным раствором соляной кислоты в ходе определения подвижных форм фосфора в образцах таких почв. Так же можно предположить, что Ca и Mg-фосфаты доступны растениям благодаря кислотным выделениям корней, микоризы, и бактерий, извлекающих фосфор из труднодоступных форм (Makoto et al., 2011).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях *in situ* уголь, образованный при лесных пожарах влияет на свойства почв и восстановление растительности так же значительно, как и другие взаимозависимые и взаимно влияющие факторы природной среды. Наши исследования подтверждают необходимость продолжения исследований экологических функций угля не только как важного фактора почвообразования в постпирогенных бореальных лесах, но и фактора возобновления растительности. Поскольку изменённые углём эдафические условия вероятно влияют на возобновление и рост лесной растительности.

** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00305.*

ЛИТЕРАТУРА:

Краснощеков Ю.Н. Постпирогенная изменчивость подстилки в горных лесах Прибайкалья // Почвоведение. 2019. № 3. С. 290–303.

- Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
- Bryanin S. V., Sorokina O.A. Effect of soil properties and environmental factors on chemical compositions of forest soils in the Russian Far East // Journal of Soils and Sediments. 2019. V.19. P. 1130–1138.
- Goldammer J.G., Furyaev V.V. Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia: Ecological Impacts and Links to the Global System. 1996. pp. 1–20.
- Gustafsson Ö., Bucheli T.D., Kukulska Z., Andersson M., Largeau C., Rouzaud J.-N., Reddy C.M., Eglinton T.I. Evaluation of a protocol for the quantification of black carbon in sediments // Global Biogeochemical Cycles. 2001.V.15. P. 881–890.
- Lehmann J. A handful of carbon // Nature. 2007 V. 447. P.143–144.
- Makoto K., Hirobe M., DeLuca T.H., Bryanin S. V., Procopchuk V.F., Koike T. Effects of fire-derived charcoal on soil properties and seedling regeneration in a recently burned Larix Gemini/Pinus Sylvestris forest // Journal of Soils and Sediments. 2011. V. 11. P. 1317–1322.
- Pingree M.R.A., DeLuca E.E., Schwartz D.T., DeLuca T.H. Adsorption capacity of wildfire-produced charcoal from Pacific Northwest forests // Geoderma. 2016. V. 283. P. 68–77.
- Preston C.M., Schmidt M.W.I. Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions // Biogeosciences. 2006. V.3. P. 397–420.
- Santín C., Doerr S.H., Preston C.M., González-Rodríguez G. Pyrogenic organic matter production from wildfires: a missing sink in the global carbon cycle // Global Change Biology. 2015. V. 21. P.1621–1633.
- Wardle D., Nilsson M.-C., Zackrisson O. Fire-Derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus // Science. 2008. V. 320. P. 629–629.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ: ПУЛЫ, ФРАКЦИИ, ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ РОЛЬ

А.А. ДЫМОВ

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар

Почвы бореальных лесов содержат приблизительно 30 % общепланетарных запасов почвенного углерода (Scharlemann et al., 2014). Органическое вещество (ОВ) является важным компонентом бореальных экосистем, современные представления о составе и свойствах этой многокомпонентной системы претерпевают существенные трансформации (Лукина и др., 2016). Органическое вещество почв (ПОВ) лесных биогеоценозов – это сложная открытая система, состоящая из значительного числа различных пулов, фракций и отдельных органических соединений. Разнообразие форм ОВ, присутствующих в почвах, обуславливает многовариантность и поливекторность механизмов стабилизации органических соединений в почвах (Семенов, Когут, 2015). Количество и состав ОВ определяют свойства почв, объясняют особенности почвообразования и характер сукцессионных этапов восстановления. Современные изменения органического вещества и почв бореальных лесов в существенной степени связаны с рубками, пожарами и сельскохозяйственным освоением. В связи с чем, цель данной работы заключалась в анализе пулов и фракций ПОВ бореальных лесов, их диагностической роли в ходе вторичных сукцессий.

Важнейшими показателями состояния углерода в почвах являются его запасы. Запасы углерода в метровой почвенной толще, сосредоточенные в почвах бореальных лесов, определяются гидрологическим фактором и по нашим оценкам изменяются от 2.9 до 12.1 кг С м⁻². Наименьшие запасы выявлены в иллювиально-железистых подзолах от 2.9 до 3.4 кг С м⁻². В автоморфных почвах, развивающихся на двучленных отложениях, запасы углерода составляют 8.6 кг С м⁻², в подзолистых почвах – 9.2, торфяно-подзолисто-глеевых – 12.1 кг С углерода м⁻². Существенно изменяется и вклад органогенных горизонтов в общие запасы – от 17 в подзолах до 69 % – в торфяно-подзолисто-глеевых. Рубки леса на пасечных участках влияют на запасы углерода существенно меньше, чем на механически нарушенных участках лесосек. В ходе естественного лесовозобновления на пасечных участках возможно как возрастание, так и уменьшение запасов углерода в зависимости от гидрологических условий, типа леса и особенностей проведения лесозаготовительных работ. На механически нарушенных участках наблюдается снижение запасов углерода в подстилках при возрастании данного показателя в ходе сукцессии до уровня условно-фоновых значений. В почвах механически нарушенных участков лесосек (турбоземы) сосредоточены значительные количества углерода в виде крупных древесных остатков, которые сохраняются длительное время и могут способствовать возрастанию общих запасов углерода и азота в длительной перспективе. Общие закономерности влияния пожаров на запасы углерода заключаются в перераспределении их между подстилочными и верхними минеральными горизонтами. Наибольшие изменения происходят при низовых устойчивых пожарах, в то время как при низовых беглых пожарах существенных изменений в запасах углерода почв не выявлено. Вовлечение лесных почв в сельскохозяйственное использование способствует уменьшению запасов почвенного органического вещества в метровой толще почв, в объемах около 3 кг м⁻². При дальнейшем естественном лесовозобновлении наблюдается увеличение запасов, как в подстилках, так и верхних минеральных горизонтах со скоростью депонирования 30-40 г м⁻² год⁻¹. В ходе сукцессий наблюдается обогащение органического вещества органогенных горизонтов азотом в ходе вторичных сукцессий.

Немаловажную роль в понимании современных почвенных процессов выполняет и качественный состав ПОВ. В настоящее время в исследованиях ПОВ широкое применение получили методы физического фракционирования, экстракции с использованием щелочных и водных растворов. В почвах естественно развивающихся бореальных лесов содержание углерода щелочерастворимых фракций составляет от 6 до 11 % в подстилках и 0.1 до 1 % в минеральных горизонтах. Высокие содержания гидрофильных фракций в составе щелочерастворимых экстрактов выявлены в подстилках, формирующихся в лесах с

преобладанием мхов и кустарничков. Наибольшее содержание углерода водорастворимых соединений во всех рассматриваемых почвах наблюдается в лесных подстилках – от 3.6 до 19.3 мг г⁻¹. Для исследуемых почв условно-фоновых ландшафтов наблюдается возрастание содержания с увеличением гидроморфизма почв. Показано, что в подстилках углерод водорастворимых соединений составляет от 1.1 до 4.5 % от общего содержания углерода (Дымов и др., 2018).

Пулы почвенного органического вещества в различной степени изменяются при рассматриваемых внешних факторах. На первых этапах в ходе постпирогенных и постагрогенных сукцессий происходит уменьшение содержания углерода щелочерастворимых соединений. В пирогенных и постагрогенных почвах наблюдается возрастание гидрофильности органического вещества при дальнейшем уменьшении данного показателя. Но при этом содержание и состав щелочерастворимых экстрактов остается наиболее стабильным в ходе сукцессионных смен. Лесные подстилки регулируют содержание водорастворимых форм органических соединений. Удаление подстилок при механических нарушениях почв приводит к существенному снижению содержания углерода водорастворимых соединений. Наиболее контрастно снижение по сравнению с контролем проявляется в почвах постпирогенных (3-27 раз) и постагрогенных (2-6 раз) экосистем. В составе ПОВ постпирогенных почв возрастает доля ароматических структур и индивидуальных соединений (Dymov et al., 2017), в частности, диагностическую роль влияния пирогенеза выполняют полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и бензенполикарбокислоты (Dymov et al., 2018).

Доля денсиметрических фракций, содержание в них органического вещества отражают тип воздействия на лесные экосистемы. В почвах вырубок в ходе сукцессий наблюдается обогащение азотом свободного органического вещества, в то время как насыщенность азотом окклюдированного органического вещества снижается. Для верхних горизонтов турбоземов выявлено увеличение концентраций углерода и азота в составе легких фракций при стабильно высоких значениях C:N (35-36). В составе легких фракций органического вещества постпирогенных почв возрастает доля ароматических фрагментов и концентрация ПАУ. На первых стадиях зарастания залежей в составе легких фракций выявлено уменьшение содержания углерода до 12-15 %, при обогащении азотом – отношение C/N составляет 19-22. В процессе лесовозобновления на залежах наблюдается расширение значений отношения C/N в легких фракциях ОВ до 29-38.

Таким образом, показано, что различные фракции и пулы ПОВ изменяются при рассматриваемых типах антропогенных воздействий и отражают отдельные этапы сукцессионного развития почв.

ЛИТЕРАТУРА:

Дымов А.А., Старцев В.В., Зуева О.М. Углерод водорастворимых соединений в лесных почвах и его постпирогенная динамика (на примере Республики Коми) // Лесоведение. 2018. № 5. С. 359-371. DOI: 10.1134/S0024114818040058

Лукина Н.В., Орлова М.А., Перминова И.В., Хусаинова В.С., Воробьева Д.Н., Артемкина Н.А. Метабономика лесных экосистем: проблемы и перспективы // Лесоведение. 2016. № 6. С. 457-465.

Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

Дымов А.А., Gabov D.N., Milanovskii E.Yu. ¹³C-NMR, PAHs, WSOC and repellence of fire affected soils (Albic Podzols, Russia) // Environmental Earth Sciences. 2017. 76: 275. doi:10.1007/s12665-017-6600-2

Дымов А.А., Abakumov E.V., Bezkorovaynaya I.N., Prokushkin A.S., Kuzyakov Ya.V., Milanovsky E.Yu. Impact of forest fire on soil properties (review) // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. P. 13-23. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-013-023

Scharlemann J.P., Tanner E.V., Hiederer R., Kapos V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool // Carbon Manag. 2014. V. 5. P. 81–91. DOI: 10.4155/cmt.13.77

ЛЕСНОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ И КОНЦЕПЦИЯ ЛЕСОФИТОПЕДОГЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ю.И. ЕРШОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск

Взаимоотношение почвы и лесного фитоценоза – одна из актуальных проблем почвоведения и лесоведения (биогеоценологии). Несмотря на более чем вековое изучение лесного почвообразования, проблема оценки связи лесной растительности и почв недостаточно исследована. В этом отношении несомненный теоретический и практический интерес представляет изучение почвообразующего и преобразующего потенциала лесной растительности как ее способности формировать различные почвы или трансформировать те или иные ранее созданные почвы (лесные, нелесные) в конкретных географических условиях за конкретный отрезок времени. Важно изучение таких почв, которые наиболее ярко и полно воспроизводят влияние лесофитогенного фактора, понять развитие этих почв в тесной связи с историей лесной растительности. В этом контексте предлагается научная концепция лесофитопедогенного комплекса, которая реализована в форме нового закона лесофитопедогенного соответствия, отражающего объективные закономерности становления и развития почв под лесной растительностью как особых природных феноменов (Ершов,

2015).

Лесофитопедогенный комплекс – это двуединый (парагенетический) саморегулирующийся комплекс, включающий лесной фитоценоз и почву, которые генетически связаны друг с другом. Основное свойство этого комплекса – в процессе функционирования сохранять на определенном уровне типичное состояние, характеристики связей между компонентами и выполнять важнейшие биогеоценотические функции. Лесофитопедогенный комплекс как результат сложного процесса взаимодействия лесного фитоценоза и почвы является биокосной основой лесного биогеоценоза и определяет его функционирование, динамику и развитие. Образование лесофитопедогенного комплекса совершается двумя основными процессами-механизмами, действующими и обеспечивающими его развитие и функционирование во времени и пространстве. Один из них связан с влиянием лесного фитоценоза на почву, другой – с влиянием почвы на лесной фитоценоз. Оба процесса действуют в определенных условиях географической среды. Соотношение этих механизмов определяет общие закономерности хода особого лесного почвообразовательного процесса педосферы, который определяет и контролирует генезис уникальных лесные почвы.

Лесная растительность влияет на почву через процессы почвообразования-выветривания, связанные с органическим веществом в определенных условиях среды. Влияние почвы на лесную растительность находит яркое проявление при самопроизвольном изменении почвы в результате процессов, протекающих в самой почве, и обратное влияние измененных свойств на лесную растительность при стационарном состоянии абиогенных факторов (климат, горные породы, рельеф). Установленная связь лесной растительности и почвы и выявленные ее внутренние причины позволил сформулировать закон биогеоценотического лесофитопедогенного соответствия: почва соответствует лесному фитоценозу (почва – функция лесного фитоценоза), почве соответствует лесной фитоценоз (лесной фитоценоз – функция почвы). В первом положении соответствия генезис почв связан с лесным растительным сообществом, во втором – лесная растительность определяется генезисом почвы. Лесофитопедогенное соответствие – отношение (связь) лесного фитоценоза и почвы при стационарном состоянии абиогенных факторов природной среды. Эти закономерные связи носят необходимый характер, и, значит, являются устойчивыми, повторяющимися в пространстве и времени, инвариантными в природе, им подчиняются все явления и процессы возникновения и развития лесофитопедогенного комплекса. В основу этого закона заложены базисные почвенно-генетические (Докучаев, 1954) и биогеоценотические (Сукачев, 1972) научные положения, направленные на познание генезиса, географии и эволюции почв под лесными фитоценозами.

Лесная растительность создает почву, свойства которой необходимы для своего функционирования, развития и конкуренции с другими фитоценозами. То есть почва, сформированная конкретной лесной растительностью, обладает буферностью (избирательной способностью) изменяющейся растительности, поскольку ее свойства способны противостоять формированию другой растительности.

Высказанная теоретическая разработка актуальна и ориентирована на изучение климаксовой (зрелой) почвы – собственно (нормальной) лесной почвы – как самостоятельного (особенного и неповторимого) продукта взаимодействия коренной лесной растительности при неизменном состоянии абиогенных факторов за неограниченный отрезок времени. Зрелая почва находится в полном (или почти полном) соответствии с климаксовым лесным фитоценозом и комбинацией абиогенных факторов и обычно соответствует зональному типу почвообразования и таксономическому уровню почвенного типа. Эта почва находится в фазе оптимального саморазвития, при котором реализуются все возможные мощности и дифференциации почвенного профиля за счет сложного сочетания процессов выветривания и почвообразования.

Примером собственно лесных почв могут служить подбуры, подзолы, дерново-подзолистые, подзолистые (хвойные фитоценозы), буроземы (широколиственные и хвойно-широколиственные), серые лесные (мелколиственные фитоценозы), составляющие основу лесного почвенного покрова России. Эти почвы характеризуются максимальной реализацией почвообразующего потенциала климаксовой лесной растительности и длительной исторической причастностью ее в формировании почвенного профиля. В результате периодической смены коренной лесной растительности вторичной (естественной, культурной) при стационарном состоянии абиогенных факторов происходит трансформация климаксовых почв в постклимаксовые лесные почвы, которые рассматриваются как определенный этап эволюции зрелых лесных почв, сопровождающийся сменой внутрипочвенных процессов, строения и свойств почвенного профиля. Так, смена хвойных мелколиственными лесами сопровождается эволюционной трансформацией, например, подбуров в дерново-подбуры, подзолов в дерново-подзолы. По влиянию на почвообразование лесной растительности среди многообразия лесных почв выделяются сивлатные почвы – особая группа почв, генезис которых связан как с нелесной, так и лесной растительностью. Сивлатизация – естественное или искусственное расселение растительности на нелесные почвы, приводящее к формированию специфических почв – сивлатоземов. Эти почвы образуются не из почвообразующей породы, а из предшествующих нелесных почв.

Свойства почвенного профиля нелесной стадии почвообразования наследуются

почвенным профилем последующей лесной стадией педогенеза. Все закономерности, устанавливающие связь лесных фитоценозов и почв, дают основание рассматривать лесное почвообразование как особое направление педогенеза и отделить его от других направлений (степного, тундрового, лесного тропического и др.) Лесное почвообразование – понятие генетико-географическое, воспроизводящее историю взаимоотношений лесной растительности и почвы в конкретной абиогенной географической среде. Закон лесофитопедогенного соответствия описывает возникновение и развитие лесных почв и служит основой более глубокого познания и научного объяснения генетической сущности лесного почвообразования и биогеоценоза в целом. В лесном педосферном покрове можно видеть сложное и многообразное проявление этого правила.

Многогранность взаимодействия лесной растительности (природной и искусственной) с почвами в пространстве и времени реализуются в виде многообразия генетически родственных групп лесных почв (собственно лесных, постклимаксных лесных, сylvатных, они могут быть полно-и неполнопрофильными, мезоморфными и гидроморфными, мерзлотными и немерзлотными и т.п.). Каждая из этих групп формируется по своим генетико-географическим и историко-эволюционным закономерностям взаимодействия и развития лесов и почвообразования.

ЛИТЕРАТУРА:

- Докучаев В.В. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз, 1954. 708 С.
Ершов Ю.И. Теоретические проблемы лесного почвообразования. Новосибирск: Наука, 2015. 319 С.
Сукачев В.Н. Избранные труды. Т.1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. 418 С.

ЛИПИДНЫЕ БИОМАРКЕРЫ В ПОЧВАХ ПОД ШИРОКОЛИСТВЕННЫМИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ ЛЕСНЫХ ЗОН БОЛЬШОЙ МОСКВЫ

Ю.А. ЗАВГОРОДНЯЯ, А.Е. БАЖАНОВА, Н.А. АНОХИНА, В.В. ДЕМИН

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения, г. Москва

Соединения, относящиеся к группе липидных биомаркеров и являющиеся молекулами известного строения и свойств, в последнее время все чаще предлагается использовать в качестве реперных для исследований коротковременных изменений углеродного цикла, для оценки скорости протекания процессов трансформации органического вещества почв в зонах повышенной биологической активности и в системе «почва-растительное сообщество».

Алифатические углеводороды с длиной углеродной цепи от 16 до 34 атомов, несмотря на их невысокое содержание в составе органического вещества (ОВ) почв (Kögel-Knabner,

2002), представляются удобными соединениями для исследования углеродного цикла. *n*-Алканы относятся к наиболее гидрофобным органическим молекулам липидной фракции почвы, что позволяет им связываться в прочные комплексы с органо-минеральной матрицей и ограничивает их перенос в профиле из-за низкой растворимости в воде. Поступая из набора известных источников (растительного опада, микробной плазмы) и являясь результатом биогенного синтеза, *n*-алканы не образуются в почве при внутрии внеклеточной деградации органических соединений. Таким образом, распределение в почве и сезонные изменения гомологического состава алканов отражают локализацию и динамику трансформации и стабилизации ОВ с момента поступления в почву (Zech et al., 2012).

Одним из промежуточных продуктов деструкции *n*-алканов являются *n*-метил-кетоны (*n*-алкан-2-оны). Последние образуют гомологи с числом углеродных атомов, равным исходному алкану, в ходе реакции β -окисления углеводородной цепи. При этом кетоны являются удобным классом соединений для оценки биodeградации углеводородов, так как не образуются в живых тканях растений, в то время как спирты и жирные кислоты входят в состав зеленой биомассы (Anokhina et al., 2018). Гидрофобность алифатических кетонов определяет сходное с алканами поведение в почве и возможность совместного аналитического определения соединения обеих групп не подвергаются химическому окислению и деструкции при выделении липидов из почв и подстилок.

Для эффективной экстракции и одновременного определения *n*-алканов и *n*-метил-кетонов в подстилках, верхних горизонтах и денсиметрических фракциях почв была модернизирована методика Wiesenberg et al. (2004). В оптимизированной процедуре выделение липидных биомаркеров выполняется методом ускоренной экстракции ASE при температуре 100°C и давлении 10,3 МПа с использованием последовательной обработки растворителями различной полярности («градиентная экстракция»). Фракции алканов и кетонов выделяются из полученного экстракта методом адсорбционной хроматографии и анализируются отдельно на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором. Модернизация параметров экстракции позволила увеличить выход липидных компонентов из образцов почв и подстилок на 30-50% за счет более полного извлечения гомологов с длиной цепи $\geq C_{25}$, основным источником поступления которых в почвы считаются эпителикулярные воска наземных растений (Bush, McInerney, 2013).

Были изучены сезонные изменения состава и содержания *n*-алканов и *n*-метил-кетонов в ОВ почв под широколиственными растительными сообществами с липой сердцевидной (*Tilia cordata*) и кленом платанолистным (*Acer platanoides*) в первом ярусе. Площадки

опробования были заложены на территории крупных лесных массивов Большой Москвы в лесопарке на Воробьевых горах (ЗАО), Национальном парке «Лосиный остров» (СВАО), Малинском лесничестве (ТиНАО).

Выбранные площадки различаются составом второго древесного яруса, в котором встречаются лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), клен платанолистный (*Acer platanoides*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), а также наличием и плотностью травянистого покрова, который представлен снытью обыкновенной (*Aegopodium podagraria*), осокой волосистой (*Carex pilosa*), пролесником лесным (*Mercurialis perennis*), щитовником мужским (*Dryopteris filix-mas*), зеленчуком желтым (*Galeobdolon luteum*), листостебельными мхами и водорослями. Все биоценозы характеризуются сходным типом биологического круговорота и режимом формирования органопрфиля почв в условиях ежегодного залпового поступления листового опада в осенний период, с которого начинается цикл перераспределения и переработки свежей мортмассы в подстилочном и почвенных горизонтах. Постоянный слой подстилки, представленной недифференцированным опадом текущего года, не формируется, т.к. основная масса опада перерабатывается на поверхности почвы в течение года до следующего листопада. Это определяет сходное направление сезонных изменений в липидном комплексе почв для всех площадок опробования.

Общим для всех фитоценозов является наличие периода, в течение которого содержание *n*-алканов в ОВ почвы минимально, и в их составе доминируют (>90%) длинноцепочечные (>C₂₅) нечетные гомологи; эти алканы, состав которых близок к составу липидов высших растений, содержатся во фракции ОВ, связанной с минеральной частью почвы. В этот период во фракции свободного детрита отсутствуют углеводороды растительного происхождения, тип гомологического распределения алканов указывает на их микробное происхождение. Относительное содержание продуктов окисления *n*-алканов – *n*-метил-кетонов, в этот период также минимально, что указывает на отсутствие в ОВ почвы биологически доступной липидной фракции.

Максимальное содержание в почве четных гомологов алканов наблюдается в периоды поступления в почву значительного количества наземного и корневого опада или интенсивной переработки уже имеющегося в почве растительного материала. Состав гомологов указывает на значительный вклад микробной биомассы. Содержание кетонов во фракции свободного ОВ низкое, т.к. кетоны, образующиеся при окислении алканов детрита, быстро подвергаются дальнейшей биodeградации. В этот же период наблюдается относительное повышение содержания метил-кетонов, связанных с минеральной частью почвы. Это возможно при протекании минерализации соответствующих *n*-алканов, прочно

связанных в пленках и органо-минеральных комплексах почвенных частиц. Частичная трансформация таких пленок происходит под действием активизирующейся микрофлоры и образующихся под ее действием органических соединений, которые вытесняют алканы, связанные с поверхностью почвенных частиц, в адсорбционные комплексы, делая более доступными для окислительных ферментов. Образующиеся при ферментативном окислении алканов в пленках гумуса кетоны могут относительно накапливаться за счет связывания с минеральными и органо-минеральными поверхностями почвенных частиц (Lehmann, Kleber, 2015), что замедляет процесс их дальнейшей минерализации.

Различия динамики липидного состава исследованных фитоценозов связаны, в первую очередь, с проективным покрытием наземного яруса. Это выражается в сезонном изменении гомологического состава углеводов в верхнем горизонте почвы, в котором липидная фракция формируется не только за счет наземного, но и за счет корневого опада травянистых растений. Ризосферная микрофлора и липиды низших растений также вносят вклад в сезонные изменения состава алканов почвы. В почве монодоминантного фитоценоза *Acer platanoides*, в котором полностью отсутствовало травянистое покрытие, гомологический состав алканов был стабилен в течение всего сезона, различия наблюдались только в количественном содержании алканов в почвенном ОБ и в изменении доли метил-кетонов.

**Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 17-14-01120.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Anokhina N.A., Demin V.V., Zavgorodnyaya Yu. A. Compositions of n-alkanes and n-methyl ketones in soils of the forest-park zone of Moscow // Eurasian Soil Science. 2018, V.51. No.6. P.637–646.
- Bush R.T., McInerney F.A. Leaf-wax n-alkane distributions in and across modern plants: implications for paleoecology and chemotaxonomy // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2013. V.117. P.161-179.
- Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter // Soil Biol. Biochem. 2002. V.34. P.139-162.
- Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // Nature. 2015. V.528. P.60-68.
- Wiesenberg G.L.B., Schwark L., Schmidt M.W.I. Improved automated extraction and separation procedure for soil lipid analyses // European J. Soil Sci. 2004. V.55. P.349-356.
- Zech M., Pedentchouk, N., Markovic, S.B., Glaser, B. Effect of leaf litter degradation and seasonality on D/H isotope ratios of n-alkane biomarkers // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. V.75. P.4917–4928.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ПОД ЛЕСОМ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНЫХ ВОДООХРАННЫХ ПОЛОС УЧИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МОСКОВСКОЙ ОБЛ.).

И.В. ЗЕНКОВА, Т.В. ЛИПКИНА

ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», г. Пушкино

Основная цель исследований – изучение свойств постагрогенных почв лесных водоохраных полос Учинского водохранилища Московской области под разной лесной растительностью.

Объекты исследования – постагрогенные дерново-подзолистые почвы на суглинистой морене, подстилаемые флювиогляциальными отложениями, формирующиеся под лесными водоохраными полосами Учинского водохранилища.

Учинское водохранилище – это водохранилище системы канала им. Москвы, было создано в 1937 году и является отстойным резервуаром (очистки от органических и минеральных взвесей) для воды, поступающей из реки Волга в г. Москва. После заполнения водой чаши водохранилища в 1939-1940 годах было произведено облесение всей прибрежной полосы лесными культурами с целью закрепления берегов от размывов и предотвращения заиливания водохранилища стекающими тальными и дождевыми водами, а также для придания всему сооружению декоративного и эстетически привлекательного вида. Культуры были созданы под руководством профессора Н. Н. Степанова, подбирались со строгим учётом рельефа, почвенно-грунтовых и лесорастительных условий, а также биоэкологических свойств культивируемых пород. Всего было применено 14 схем смешения пород (Степанов, 1937). Лесные культуры создавались на агрогенных почвах с предварительной подготовкой почвы.

Для исследований нами были отобраны лесополосы с разной долей участия в составе насаждений хвойных (ели европейской) и лиственных (липа, берёза) пород. В лесополосах были заложены пробные площади (ПП). Пробная площадь №1 (ПП1) с преобладанием в составе лиственных пород, схема смешения Б-Ак-Е-Буз-Лп-Буз-Е-Ак-Б. И пробная площадь № 2 (ПП2) с преобладанием ели обыкновенной, схема смешения: Б-Ак-Е-Е-Буз-Лп-Буз-Е-Е-Ак-Б. Кустарники, введённые в схемы смешения древесных пород, в данном случае – акация жёлтая и бузина красная должны были обогащать почву питательными веществами, главным образом за счёт разложения опада. Для контроля и наблюдения за динамикой изменений почвенных свойств были заложены пробные площади в естественном лесу, в 90-летнем ельнике разнотравном и на 5-летней залежи. Исследуемые постагрогенные почвы находятся в одинаковых геоморфологических условиях, граничат друг с другом и имеют общую агрогенную историю. На ПП было проведено полное морфологическое описание почв: заложены 2-метровые почвенные разрезы и прикопки. Также было исследовано агрегатное состояние бывшего пахотного горизонта почв. Были определены следующие размеры агрегатов: более 10; 10...7; 7...5; 5...3; 3...1; 1...0,5; 0,5...0,25 и менее 0,25 (методом сухого просеивания по Н.И. Саввинову). В выделенных фракциях определяли водопрочность

почвенных агрегатов по методу П.И. Андрианова в модификации Н.А. Качинского) в 3-х кратной повторности. Из химических свойств определяли: рН (водной и солевой суспензии); обменную кислотность и подвижный алюминий; гидролитическую кислотность почвы; сумму обменных оснований; ёмкость поглощения; содержание углерода органических соединений; обменных катионы: кальций и магний; подвижный фосфор; подвижный калий общепринятыми в почвоведении методами.

В настоящее время на участках с лесными культурами, в которых преобладали при посадке лиственные породы (ПП1) сформировалось 2-х ярусное насаждение с преобладанием берёзы и липы в первом ярусе и сильно угнетённой елью во втором. На участках с лесными культурами, в которых преобладала ель обыкновенная сформировалось также 2-х ярусное насаждение с существенным преобладанием ели в обоих ярусах. Кустарники, посаженные между древесными породами, сохранились лишь единично. Для залежи характерно постепенное зарастание лиственными породами, такими как берёза, ива, вяз. В напочвенном покрове залежи преобладают злаки и сорная растительность.

Под лесными культурами, после смыкания крон деревьев, начинает формироваться новая экосистема лесная среда, с присущей ей тепловым, пищевым, водным режимами, что несомненно отражается и на трансформации постагрогенных почв. Согласно литературным данным (Хохлов, 2015) основные преобразования в постагрогенной почве проявляются спустя 20...25 лет. Анализ морфологических свойств почвенного профиля исследуемых нами почв свидетельствует о том, что преобразования под лесом охватывают всю постагрогенную толщу. Можно выделить следующие основные морфологические изменения: старопашотный горизонт начинает дифференцироваться на гумусовый и элювиальный горизонты. Однако, следует отметить, что древесная растительность в зависимости от своего состава оказывает различное влияние на изменения строения верхней постагрогенной толщи дерново-подзолистых почв. Так под лесными культурами *с преобладанием лиственных пород* формируется более темный гумусовый горизонт; элювиальный горизонт также более темный, характерное для этого горизонта осветление проявляется едва заметно, структура непрочная комковато-плитчатая. Под лесными культурами *с преобладанием ели обыкновенной* формируется более светлый гумусовый горизонт небольшой мощности, граница выражена затеками и языками; элювиальный горизонт характеризуется более светлой окраской и различной комковато-плитчатой структурой. Агродерново-подзолистые почвы 5-летней залежи характеризуются наличием пока еще неизмененного гомогенного пахотного горизонта, залегающего на субэлювиальном горизонте.

Проведенные исследования агрегатного анализа свидетельствуют о том, что исследуемые почвы обладают различным фракционным составом макроагрегатов. Особенностью структуры зональных дерново-подзолистых почв является ее распыленность (мелко-комковатая структура), т.е. высокое содержание мелких агрегатов размером менее 2 мм. Для почв свежей залежи характерна комковато-ореховатая структура с преобладанием более крупных (более 3...5 мм) агрегатов. Для бывших пахотных горизонтов почв под лесными культурами характерен более однородный фракционный состав макроагрегатов, без преобладания крупных и мелких фракций. Устойчивость структуры почв к разрушающему действию воды различается в исследуемых почвах. Наиболее низкая водопрочность характерна для лесных почв контроля, наиболее высокая – для почв залежи. Для почв под лесными культурами характерно более прочная, по сравнению с лесными зональными почвами структура, но менее прочная, по сравнению с залежью.

Анализ химических свойств показал, что для постагрогенных почв под 80-летними лесными культурами характерны слабокислая реакция среды, невысокая обменная и гидролитическая кислотность, более высокое по сравнению с зональными дерново-подзолистыми почвами содержание обменного Ca^{2+} и гумуса. Наиболее низкое содержание обменных H^+ и Al^{3+} характерно для почв свежей залежи. Эти свойства отражаются и на агрегатном состоянии почвы.

Таким образом, постагрогенные почвы под 80-летними лесными культурами, как с длительным преобладанием ели обыкновенной, так и с преобладанием лиственных пород по своим физико-химическим свойствам занимают промежуточное положение между агродерново-подзолистыми почвами залежи и зональными лесными дерново-подзолистыми почвами (Холопова, 1982) и характеризуются постепенным восстановлением природных параметров почв.

ЛИТЕРАТУРА:

- Степанов Н. Н. Типы лесных культур // В защиту леса. 1937.-№2.-С.7-17; №4.-С.9-2.
Холопова Л. Б. Динамика свойств почв в лесах Подмосковья. М.: Наука, 1982. 120с.
Хохлов С. Ф. Постагрогенные дерново-подзолистые почвы под лесом и лугом в Подмосковье: свойства, эволюция и элементы водного баланса : дис. ...канд. с/х наук / С. Ф. Хохлов – М., 2015. – 160с.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ПОЧВАХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

Р. Г. КОВАЧ, А. Н. ГЕННАДИЕВ, Ю. И. ПИКОВСКИЙ, А. Д. БЕЛИК

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»,
географический факультет, г. Москва

Углеводородные газы (УВГ) являются неотъемлемой частью углеводородного состояния (УВС) почв. Наиболее изученным среди них является метан. Его в анаэробных условиях создают некоторые группы бактерий, населяющих почвы. При этом известно, что достаточно анаэробные условия могут создаваться и в непереувлажненных почвах внутри почвенных агрегатов (Степанов, 2006). Так же метан может поступать в почвы из нижележащих геологических слоев.

Более тяжелые газы считаются нехарактерными для почвенного воздуха и обычно называются «нефтяными», так как встречаются в почвах, развитых над залежами различных видов углеводородных полезных ископаемых.

Однако в настоящее время существует ряд работ, которые отмечают наличие различных тяжелых УВГ в почвенном воздухе вне зон залегания разведанных залежей УВ полезных ископаемых (Орлов и др., 1987; Arshad et al., 2012; Пиковский и др., 2017; Ковач и др., 2018). Так же предполагается, что эти газы продуцируются почвенной микробиотой и высшими растениями, что позволяет предположить определенную периодичность поступления тяжелых УВГ в почвенный воздух.

Авторами данной работы в течение двух лет четыре раза в год (по основным фенологическим сезонам) проводился отбор образцов почв для дальнейшей дегазации и определения в составе почвенного воздуха таких компонентов, как метан, этилен, этан, пропан, н-бутан. Отбор проходил на территории Звенигородской биостанции МГУ на автоморфном участке леса и на смежной территории высокой поймы, занятой травянистым сообществом. Образцы отбирались в каждой точке опробования в трех повторностях по трем глубинам, характеризующим верхнюю (гумусированную), среднюю (переходную) и нижнюю (мало затронутую почвообразованием) части почвенного профиля.

Обработка полученных результатов позволила сделать следующие выводы:

1. В исследованных почвах нами обнаружены все перечисленные выше газы;
2. Характер изменения содержания того или иного газа с глубиной и в течение года позволяет разделить исследуемые газы следующим образом: метан; этилен; тяжелые

УВГ. Предположительно, это разделение отражает различия в происхождении основной по количеству части того или иного газа;

3. Содержание метана в исследованных почвах практически не имеет ни глубинной, ни сезонной дифференциации;

4. Сезонная динамика содержания этилена имеет четко выраженную дифференциацию. При этом периоды его максимального содержания в почвах под различными типами растительности не совпадают, что объясняется различием в периодах максимального продуцирования этилена лесной и травянистой растительностью. Максимум содержания этилена приурочен к верхней части почвенного профиля;

5. Более тяжелые газы встречаются эпизодически и приурочены преимущественно к верхней части почвенного профиля, что позволяет сделать вывод об их автохтонной природе.

** Работы выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-1-00193.*

ЛИТЕРАТУРА:

Ковач Р. Г., Геннадиев А. Н., Пиковский Ю. И., Белик А. Д. Динамика углеводородных газов в почвах: новый подход к изучению и индикационный потенциал // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2018. № 3. С. 40-46

Орлов Д. С., Минько О. И., Каспаров В. С., Аммосова В. Я. Образование рассеянного углеводородного газа в почвах // Почвоведение. 1987. № 6. С. 89-94

Пиковский Ю. И., Геннадиев А. Н., Ковач Р. Г., Хлынина Н. И., Хлынина А. В. Углеводородное состояние аллювиальных почв на территории истринского морфоструктурного узла (Московская область) // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1421-1434

Степанов А. Л., Манучарова Н. А. Образование и поглощение парниковых газов в почвенных агрегатах. М.: изд-во «Университет и школа», 2006. 82 с.

Arshad M., Frankenberger Jr. W. T. Ethylene: Agricultural Sources and Applications. Springer Science+Business Media, LLC, 2012. 342 pp.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И МИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ЛЕСНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОН

И.Н. КУРГАНОВА, Л.А. ОВСЕПЯН, В.О. ЛОПЕСДЕ ГЕРЕНЮ, В.И. ЛИЧКО

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино

В Европейской части России общая площадь залежных земель, на которых идет процесс естественного лесовозобновления, составляет около 36.3 млн га, из которых около 70% (25.3 млн га) сосредоточено в таежной зоне, чуть более 10% (3.9 млн га) – в зоне широколиственных лесов, и примерно 20% (7.3 млн га) – в лесостепной зоне (Люри и др., 2010). Процесс постагрогенной эволюции бывших сельскохозяйственных угодий идет в лесной зоне по классическим сукцессионным схемам в направлении формирования

зональных типов экосистем (Владыченский и др., 2012). Отсутствие отчуждения растительного материала в виде урожая и последующее восстановление многолетней растительности на бывших пахотных угодьях инициируют процессы накопления органического углерода (С_{орг}) как в почвах, так и в растениях, которые на них развиваются. Интенсивность накопления С_{орг} зависит от периода восстановительной сукцессии, а вновь образованное органическое вещество (ОВ) будет характеризоваться иным соотношением функциональных пулов в своем составе, определяя его стабильность, которая является ключевым фактором секвестрирования С_{орг} в почвах (Семенов и др., 2009).

В рамках представляемой работы обобщены результаты исследований, направленных на изучение постагрогенной динамики органического углерода (С_{орг}), общего азота (N_{общ}), денсиметрических фракций органического вещества, общих физико-химических характеристик почв и их микробной активности (базальное дыхание, микробная биомасса, ферментативная активность) в почвах разных типов и биоклиматических зон: дерново-подзолистой почвы (Костромская область, южно-таежная зона), серой почвы (Московская область, лиственно-лесная зона), темно-серой почвы (Белгородская область, лесостепная зона) и чернозема миграционно-мицелярного (Курская область, заповедник «Стрелецкая степь», лесостепная зона).

Во всех лесорастительных зонах перевод пахотных почв в залежные земли, занятые постоянной луговой или лесной растительностью, как правило, приводил к прогрессивному накоплению органического углерода в слое 0-10 см, что вызывало усиление дыхательной активности почв и существенное увеличение в них пула микробного углерода. Наиболее значительные постагрогенные изменения всех изученных свойств почв были выявлены в слое 0–5 см. Так, содержание С_{орг} и N_{общ} в верхнем 0–5 см слое темно-серой почвы за 45 лет залежного режима увеличилось в 1.2–1.3 раза. Содержание С_{орг} и N_{общ} в верхнем 0–5 см чернозема за 60 лет постагрогенного развития возросло в 1.9–2.0 раза.

Процесс постагрогенной эволюции бывших сельскохозяйственных угодий в лесной зоне идет в направлении формирования зональных типов экосистем. Параллельно с этим происходит закономерное изменение морфогенетических характеристик почв, их физических, химических и микробиологических свойств. Скорость восстановления лесных экосистем на месте бывших сельскохозяйственных угодий определяется двумя основными факторами – зональной локализацией и начальным состоянием залежи, которое зависит от особенностей их прежнего использования в сельскохозяйственном производстве. Изменение общих почвенных свойств, обусловленное последовательной сменой растительных сообществ, имеет близкие тренды во всех климатических зонах.

Так, конверсия пахотных почв в залежные земли, занятые постоянной луговой или лесной растительностью, как правило, сопровождается выраженным накоплением Сорг во всех фракциях ОВ почвы. Эта закономерность была наиболее выражена в слое 0–5 см для легких фракций, что обусловлено увеличением поступления в почвы в процессе их залежного развития свежего растительного материала, последующими процессами его трансформации и образованием органо-минеральных комплексов. В пределах, всех изученных хронорядов пост-агрогенных почв самые тесные корреляционные связи были выявлены между микробиологическими показателями и содержанием С в денсиметрических фракциях. Это наблюдение свидетельствует в пользу того, что активность микробного сообщества в почвах, изучаемых хронорядов главным образом зависит от общего пула органического углерода. Большая часть углерода легких фракций служит доступным субстратом для микроорганизмов и краткосрочным резервуаром питательных элементов для растений. Эти фракции ОВ, будучи чрезвычайно чувствительными к изменению типа растительности, землепользования и условиям возделывания культур, и играют существенную роль в процессе круговорота углерода в почвах. С накоплением углерода легких фракций связано усиление дыхательной активности почв, которое было выявлено в процессе постагрогенной эволюции. Накопление Сорг окклюзированной фракции, гумусовые вещества в составе которой придают ей губчатое и рыхлое строение со множеством внутренних пор, благоприятно влияет на водоудерживающую способность почвы.

Сукцессия растительного и микробного сообществ при постагрогенной эволюции влияет на качество и количество поступающего ОВ и процессы его разложения, что, по-видимому, во многом объясняет различия в активности гидролитических ферментов и сопровождается повышением доли активности ферментов с узкой субстратной специфичностью. Активность оксидаз демонстрировала более высокие значения на пашне по сравнению с почвами зрелых залежей, обусловленное интенсивными процессами дегумификации в почвах пашни.

Таким образом, в пределах лесной зоны выявлены как общие тенденции развития постагрогенных почв, так и значительные различия в процессах их восстановления в зависимости от типа почвы, который является доминирующим фактором, позволяющим объединить почвы разного землепользования в группы, которые характеризуются наибольшим сходством основных физико-химических и биологических свойств.

**Работа выполнялась в рамках государственного задания “Исследование почвенных предшественников, источников и стоков парниковых газов в связи с климатическими*

изменениями” (рег. № АААА-А18-118013190177-9) и при поддержке РФФИ (проект № 18-04-00773).

ЛИТЕРАТУРА:

Владыченский А.С., Телеснина В.М., Чалая Т.А. Влияние поступления растительного опада на биологическую активность постагрогенных почв южной тайги // Вестник МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 2012. № 1. С. 3–10.
Люри Д.И., С.В. Горячкин, Н.А. Караваева, Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель в России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. Москва: ГЕОС. 2010. 416 с.
Семенов, В. М., Иванникова, Л. А., Тулина, А. С. Стабилизация органического вещества в почве // Агрехимия. 2009. № 10. С. 77–96

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТАЕЖНЫХ ПОЧВ В ПРИХОТЬЕ И МЕХАНИЗМЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

А.Ф. МАХИНОВА, А.Н. МАХИНОВ

Государственное федеральное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск

E-mail: mahinova@iver.as.khb.ru

Высокоширотное положение территории Приохотья, разнообразие климатических и геолого-геоморфологических условий, повсеместное распространение многолетней мерзлоты, влияние холодных морей и отепляющее действие Амура в южной части придают ее природе неповторимо суровый и уникальный характер. Огромная протяженность в широтном (700 км) и долготном (1200 км) направлениях на фоне преобладания горного рельефа и большого разнообразия геологических и климатических условий, растительности и почвообразующих пород определяют специфику пространственного формирования структур почвенного покрова в ее пределах. Определяющими факторами механизмов почвообразования являются горный рельеф и интенсивное физическое выветривание на крутых склонах, способствующее денудации и эрозии с образованием небольшой мощности хорошо дренируемых грунтов. На северо-восточных наветренных склонах заметно проявляется активизация склоновых процессов и бокового внутрипочвенного стока за счет выпадения большого количества атмосферных осадков - до 800-850 мм/год.

Исследования проводились на побережье Охотского моря (заливы Ульбанский, Тугурский, Александры и Нерпичий), в устье р. Уды, на ключевых участках горной системы Джугджур. Выявлено, что наличие многолетнемерзлых пород прерывистого и островного характера является одним из определяющих факторов в развитии почвенного покрова. Многолетняя мерзлота и короткий вегетационный период затормаживают развитие

биохимических реакций в почве, что является причиной медленного развития механизмов формирования почвенного профиля и его маломощности.

В Западном Приохотье широко распространена льдистая мерзлота, но ее влияние на почвы остается малоизученным. В то же время, без анализа воздействия на почвенный покров льдистой мерзлоты и надмерзлотных вод в пределах разных высотных поясов, невозможно однозначно выявить причины формирования профиля почв с органогенно-торфяным горизонтом без признаков оглеения и сегрегации в его минеральной толщине (Махинова, 1989).

На рассматриваемой территории преобладают почвы с маломощным профилем и оторфованным или мохово-дерновым горизонтом. Основным фон в составе почвенного покрова формирует парагенетическая группа почв иллювиально-гумусового почвообразования: подзолистые иллювиально-гумусовые и подбуры. Они занимают 80% площади горных территорий. В их распространении основную роль играет литология и количество выпадающих осадков и в меньшей степени мощность рыхлых отложений. На водоразделах с абсолютными отметками выше 1200 м к фоновым почвам следует отнести криоаридные почвы и горные органогенно-щебнистые почвы. В площадном отношении они занимают 5-6% (включая курумы). На карбонатсодержащих породах Алдано-Майского нагорья преобладают горно-таежные карбонатные почвы. Их ареал составляет 3-4%. Горно-таежные почвы характеризуются промывным режимом, отрицательным балансом веществ, выщелоченностью, высокой кислотностью фульватного (фульватно-гуматного) характера

В долинах рек, на выположенных территориях имеет место заболачивание. Здесь преобладают глееземы и криоземы, они составляют около 40% площади долин и междуречий, и являются фоновыми почвами. Узкой полосой и фрагментарно вдоль русел крупных рек, формируются аллювиальные почвы. Процент их общей площади менее 2%, они отнесены к сопутствующим почвам. Уникальным объектом является система морских валов разного возраста, расположенных параллельно береговой линии моря. На наиболее древних валах сформировались маломощные дерновые почвы под кедрово-стланиковыми зарослями, на более молодых – примитивные лугово-аллювиальные почвы.

Отличительной особенностью природных почв Приохотья является накопление в них поливалентных металлов (Fe, Al, Cu, Zn, Ni) относительно фона и их взаимодействие с раствором реакционно-способных органических кислот (агрессивными фракциями гуминовых и фульвокислот). Геохимическая активность катионов образовывать соединения с гумусовыми веществами, в условиях Приохотья, можно расположить в ряд:

$Fe^{3+} > Al^{3+} > Fe^{2+} > Zn^{2+} > Cu^{2+} > Pb^{2+} > Co^{2+}$. Положение металлов в этом ряду зависит от природы гумусовых кислот и pH в почвенном пространстве.

Развитие горнодобывающей промышленности в Приохотье методом вскрыши нарушает почвенный покров в пределах землеотвода и снижает его устойчивость на крутых склонах (Makhinova et al., 2008). Вскрыша породы на глубину до 5-6 метров способствует протаиванию грунтов и их сползанию вниз. Таким образом, на крутых склонах отмечается развитие смыто-намытых почв. Механизмы их формирования способствуют расширению ареалов почв с дерновым (органогенно-торфяным) горизонтом и провальным профилем.

ЛИТЕРАТУРА:

Махинова А.Ф. Почвенный покров Нижнего Приамурья. Владивосток: ДВО РАН, 1989. 144 с.
Alexandra F. Makhinova, Alexey N. Makhinov. Risk assessment of soil degradation and possible soil recultivation in mining in Priokhotie region // The 14th Meeting. Sept. 14-19, 2008. V.1. 273-276.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.Г. ОПЕКУНОВА, А. Ю. ОПЕКУНОВ, С. Ю. КУКУШКИН, С.А. ЛИСЕНКОВ,
В.В. СПАССКИЙ

Институт Наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, В.О. 10-ая
Линия, д. 33/35, г. Санкт-Петербург

В период с 2005 по 2018 годы выполнен экологический мониторинг 26 нефтегазоконденсатных месторождений на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Пробы почв отбирались из двух генетических горизонтов: аккумулятивного (O, TO) и иллювиального (BF, BHF, G). В пробах определено валовое содержание металлов (метод ICP-MS) с полным кислотным разложением проб, содержание их подвижных форм, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером при pH 4.8 и анионно-катионный состав водных вытяжек. Лесные почвы на территории исследований распространены в долинах рек и на обширных пологоволнистых равнинах южной части Надым-Пур-Тазовского междуречья. Почвенный покров территории отличается сложным мозаичным, комплексным строением и многообразием типов почв. Контрастность геохимических условий обуславливает значительную естественную вариабельность химического состава почв в горизонтальной и вертикальной структурах. Основными факторами, определяющими различия в содержании микроэлементов, выступает гранулометрический состав почв, обусловленный типом подстилающих горных пород, и исходный химический состав почвообразующих пород.

Максимальные концентрации металлов отмечаются в аккумулятивных и иллювиальных горизонтах почв, сформировавшихся на тяжелых породах. В условиях многолетнемерзлых пород специфика почвенной миграции приводит к накоплению литофильных и сидерофильных металлов в минеральных горизонтах почв глинистого и тяжелосуглинистого состава, а халькофильных элементов в органогенных горизонтах. Минимальные содержания микроэлементов установлены в торфяниках (Опекунова и др., 2019).

Результаты многолетних исследований показали, что загрязнение почв в результате добычи углеводородного сырья в изученном районе носит локальный характер. Общая техногенная нагрузка при проведении буровых работ вызвана прежде всего отходами бурения. При прорыве стенок шламовых амбаров отмечается загрязнение почв за счет латеральной и радиальной миграции поллютантов. В связи с этим изучено воздействие разливов буровых растворов на примере двух профилей (208 и 105) на Береговом и Пырейном месторождениях сразу после разлива и на второй год после сброса.

На профиле 208 исследовано четыре почвенных разреза на расстоянии 50 м друг от друга, начиная с участка разлива шлама. Первый почвенный разрез представлен торфяно-подбуром глеевым (О-Т-ВН-СГ-С); остальные три – торфяно-глееземами (О-Т-Г-СГ). Глубина заложения разрезов – 0.60-0.80 м. Почвы сформированы на тяжелосуглинистых позднеплейстоценовых аллювиально-озерных отложениях под северо-таежной лиственничной кустарничково-лишайниково-моховой рединой.

Изучение химического состава почв в первый год показало загрязнение только в непосредственной близости от разлива отходов бурения в органогенном горизонте общим азотом, PO_4^{3-} , Cl^- , нефтепродуктами, Ba, Mn, Zn, Sr, Fe, Na. При этом по результатам нормирования по Zr (Водяницкий и др., 2011) техногенный вклад в содержание Ba составлял 80%, Mn – 84, Zn – 72, Sr – 96, Fe – 83, Na – 91%. Эти же металлы наиболее подвижны в верхнем горизонте: доля подвижных форм Ba составляет 12%, Mn, Zn, Sr и Na – 17-22%. Спустя год установлено вымывание Cl^- , SO_4^{2-} и металлов вплоть до почвообразующей породы с максимумом содержания в горизонте В. Доля техногенности Ba, Sr и Na достигает соответственно до 70%, 91% и 90%. Подвижность металлов вниз по разрезу в соответствии со снижением техногенного вклада падает, исключение составляют только Ba и Zn, доля подвижных форм которых в переходном к почвообразующей породе слое достигает соответственно 10.5% и 13%. На расстоянии 50 м от разлива загрязнение почв Ba, Sr, Na, Pb с техногенностью металлов 66-79% выражено в верхнем горизонте. Ряд металлов обладает высокой подвижностью: Zn (31% подвижных форм), Co (37%), Cd (37%), Cr (16%), Mn (15%), Pb (12%). В нижележащих горизонтах отмечается загрязнение Cl^- , SO_4^{2-} и соединениям азота.

С относительно высоким потенциалом мобильности остаются Ba (6%) и Zn (15%), растет подвижность Pb (24%). В третьем по профилю разрезе выявлено загрязнение поверхностного горизонта Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , NO_3^- , Ba и Pb. Отмечается высокая подвижность металлов: Mn (27% от валового содержания), Zn (22%), Cu (11,5%), Co (10%), Cd (11%), Sr (21%) и Na (37%). В нижней части торфянистого горизонта доля подвижных форм для всех металлов заметно снижается, не превышая 10%. В горизонте С зафиксирован рост концентрации SO_4^{2-} , V, Sr и Na, что связано, по-видимому, с их миграцией при техногенном загрязнении. В наиболее удаленном от источника разрезе в верхнем горизонте отмечаются высокие концентрации Pb, V, Cr и Fe. В нижележащих горизонтах G и CG содержания металлов соответствуют фоновым. Доля подвижных форм Pb и Cd составляет соответственно до 38% и 30%, несколько ниже она у Ba (до 11%), Cu (9%) и Sr (до 9%).

На профиле 105 изучено три разреза (через 50 м). Они представлены подбурями иллювиально-железистыми (O-BHF-C) на тяжелосуглинистых позднеплейстоценовых иллювиально-озерных отложениях под северо-таежным смешанным березово-лиственнично-елово-кедровым ерниково-кустарничково-лишайниково-моховым редколесьем.

В первый год загрязнение почв было установлено только вблизи разлива в органогенном горизонте, где наблюдались высокие концентрации общего азота, PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Mg^{2+} , нефтепродуктов, а также металлов с высокой техногенностью: Ba (44%), Cu (57%), Ni (68%), Co (62%), Fe (60%), Sr (67%), Mn (89%). На второй год отмечена аналогичная ситуация. Для металлов установлена высокая доля подвижных форм: Mn - 68%, Zn - 19%, Ba - 18%, Co - 27%, Cd - 30%, Sr - 38%, Na - 20%, Cu - 25%. В горизонте В и переходном к почвообразующим породам выросло содержание Cl^- и особенно SO_4^{2-} . Во втором разрезе в 50 м от источника в органогенном горизонте наблюдается увеличение содержания Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , а также Ba, V, Pb, Cd, хотя техногенная доля металлов невелика и не превышает 20%. Аналогично снижается процент подвижных форм с максимумом у Cd (29%), Zn (10%), Ni (14%), Pb (8%). В горизонте В отмечается небольшое повышение Cl^- и SO_4^{2-} . В пробах верхнего горизонта третьего разреза выявлено повышенное содержание V, Ba, Cr и Na, что может указывать на слабое загрязнение от бурового шлама. В нижележащем горизонте установлена высокая концентрация NO_3^- .

Во всех трех почвенных разрезах профиля 105 в нижележащих иллювиальном (В) и переходном (BC) горизонтах отмечались высокие концентрации Cl^- и SO_4^{2-} (в третьем разрезе - NO_3^-) и близкие содержания изученных металлов. Результаты нормирования по Zr позволяют говорить о небольшом загрязнении минеральных горизонтов Ni (28-33%), Cr (30-

32%), Fe (20-23%) и V (20-23%). Во всех почвенных разрезах доля подвижных форм от валового содержания снижается вниз по профилю, за исключением Pb (до 21%).

Согласно результатам биотестирования водных вытяжек почв с использованием тест-объектов *Daphnia magna* Straus. и *Chlorella vulgaris* Beijer. токсичность изученных образцов обусловлена их засолением хлоридами, сульфатами и фосфатами при загрязнении окружающей среды пластовыми водами и отходами бурения.

Таким образом, спустя год после разлива на поверхность отходов бурения в непосредственной близости от него загрязнение отмечается в основном в органогенном горизонте. По мере удаления от источника техногенное накопление поллютантов становится присуще больше минеральным горизонтам за счет их вымывания в процессе радиальной и латеральной миграции. Индикаторными элементами загрязнения отходами бурения служат Ba, Sr, Na, в некоторых случаях V. Процессы латеральной и радиальной миграции сопровождаются изменением абсолютной концентрации и доли в валовом содержании подвижных форм металлов. Вблизи источников загрязнения доля подвижных форм металлов составляет 20-30%. Вниз по разрезу и по мере удаления от источника количество этих форм снижается до 1-2% и менее. К наиболее подвижным металлам в условиях загрязнения Zn, Cd, Mn, Cu, Sr, Na.

* Работа выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ № 17-05-41070

ЛИТЕРАТУРА

Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О., Прокопович Е.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии. Почвоведение. 2011. № 2. С. 240-249.

Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири. Почвоведение. 2019. № 4. С. 422-439. DOI: 10.1134/S0032180X19020114

ТРАДИЦИОННЫЕ (Pb) И НОВЫЕ (REE) ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В ЗАПОВЕДНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

Т.В. ПАМПУРА^{1,2}, О.В. ЗАРУБИНА²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск

Основным источником загрязняющих веществ в лесных почвах являются атмосферные выпадения. Доминирующая роль антропогенного свинца в современных атмосферных выпадениях даже в удаленных от промышленных центров уголках планеты

является установленным фактом. Наши недавние исследования показали, что атмосферные выпадения свинца в южной части Валдайской Возвышенности росли на протяжении последних 2000 лет и достигли максимума, превышающего естественный фон в сотни раз, в 30-70-годы XX века. Несмотря на последовавшее снижение выпадений, сейчас они все еще превышают фон ~ в 50 раз (Пампура и др., 2016). В отношении масштабов загрязнения почв мнения расходятся. Согласно одним исследованиям, антропогенный свинец доминирует в органических горизонтах почв лесных почв Америки и Северной Европы (Steinnes et al., 2006), согласно другим — содержания и изотопный состав свинца сельскохозяйственных почв Европы контролируются скорее геологическим строением и климатом (Reimann et al., 2012).

В отличие от свинца, для которого история добычи и загрязнения окружающей среды насчитывает тысячелетия, редкоземельные элементы (REE) привлекли внимание человека в последней трети XX века. Их использование в новейших электронных и других технологиях привело к стремительному росту мировой добычи и техногенному рассеиванию в окружающей среде. С 1970-х годов добыча REE выросла в почти в десять раз, абсолютным лидером среди производителей является Китай. Основные антропогенные источники REE — добыча и переработка руд, нефтепереработка, сжигание угля, утилизация бытовой электронной техники. Наши недавние исследования динамики атмосферных выпадений в изучаемом регионе на протяжении Голоцена показали четырехкратное возрастание современных выпадений REE по сравнению со средними значениями до-антропогенного периода.

Цель нашей работы — исследовать, приводит ли увеличение атмосферных выпадений Pb и REE на заповедных территориях к существенному загрязнению лесных почв.

Район исследования — Центральный Лесной Государственный Природный Биосферный Заповедник (ЦЛГПБЗ), Тверская область. Из местных источников следует учитывать автотранспорт и добычу бурого угля в г. Нелидово в 40 км от заповедника (1948–1996 гг.), терриконы до сих пор находятся около заброшенных шахт. Исследовали контрастные почвы — дерново-подзолистую на вершинной поверхности моренной гряды и перегнойно-глеевую в седловине между двумя холмами моренной гряды. Образцы бурого угля отбирали на терриконах шахты №3 г. Нелидово.

Образцы бурого угля и почвы сплавляли с метабора́том лития с последующим разложением плавня смесью HF и HNO₃. Определение элементного состава и изотопного состава свинца проводили на ИСП-масс-спектрометре NexION 300D. Содержания лантаноидов нормировали по RPSC (глинистые сланцы Русской платформы), рассчитывали

европиевую (Eu/Eu^*) и цериевую аномалии (Ce/Ce^*). Отношения легких редкоземельных элементов (LREE) к тяжелым (HREE) определяли как отношение La/Yb .

Свинец в почвах. В исследованных почвах концентрации свинца превышают средние значения для песчаных и супесчаных почв, но ниже ориентировочно допустимой концентрации (ОДК). Тренды изменения содержания свинца в верхних 20 см почвы в пересчете на кубический см почвы выглядят аналогично для обеих почв, с максимумом на границе горизонтов А и АВ. Такое распределение может отражать уменьшение атмосферных выпадений свинца с последней четверти XX века и миграцию антропогенного атмосферного свинца, попавшего в почву в период максимальных атмосферных выпадений, вниз по профилю.

В перегнойно-глеевой почве в верхних 20 см изотопный состав свинца к поверхности смещается в сторону отношений, характерных для современных атмосферных выпадений, где доминирует антропогенный свинец, близкий по составу к свинцу российского этилированного бензина (Mukai et al., 2001). Доля "антропогенного" свинца в верхней части профиля перегнойно-глеевой почвы, рассчитанная по изотопному составу на основе бинарной модели смешения свинца российского этилированного бензина и естественного "литогенного" свинца нижних горизонтов почвенного профиля, составляет порядка 30%. В отличие от перегнойно-глеевой почвы, достоверного сдвига изотопного состава свинца в верхней части профиля дерново-подзолистой почвы к составам "антропогенного" свинца не происходит. При значительных колебаниях, отношение $^{206}Pb/^{207}Pb$ в дерново-подзолистой почве не выходит за пределы среднего состава доантропогенных атмосферных выпадений. Это обусловлено более высоким содержанием минеральной составляющей и связанного с ней "литогенного" свинца и его изначально более радиогенным составом в верхних горизонтах дерново-подзолистой почвы по сравнению с перегнойно-глеевой. На этом фоне добавка антропогенного свинца атмосферных выпадений не настолько существенна, чтобы приводить к изменению изотопных отношений.

REE в почве. REE накапливаются в верхних 13 см профиля дерново-подзолистой почвы, достигая максимума в горизонте Ап. Поведение LREE и HREE в этой почве различается. HREE демонстрируют незначительное накопление в профиле почвы по сравнению с горизонтом С, а LREE — вынос в средней части профиля и накопление в верхней. В горизонтах В, ВС и С наблюдается максимальное отношения легких REE к тяжелым. Для HREE определяющим распределение фактором является вертикальная литологическая неоднородность почвообразующих пород. Распределение LREE в большей степени определяется профильной дифференциацией элементов в ходе оподзоливания.

Анализ спектров нормированных REE показал их значительное различие в разных частях профиля. Так, спектры горизонтов ВС и В наследуют основные черты REE горизонта С — положительные Сеи Eu-аномалии. Во всех вышележащих горизонтах Eu-аномалии отрицательны, а Се-аномалии, оставаясь положительными, резко уменьшаются. Накопление Се в нижней части профиля связано с аккумуляцией там гидроокислов железа и марганца. Уменьшение Eu/Eu* снизу-вверх по профилю отражает степень выветривания и разрушения накапливающих Eu Са-полевых шпатов. Установлена отрицательная корреляция (R^2 0.85) между величиной Eu/Eu* и Ba/Sr — показателем степени выветривания почвообразующих пород. Наблюдается закономерный переход от спектров элювиальных горизонтов АВ к спектрам верхней части профиля — уменьшается положительная цериевая аномалия и увеличивается отрицательная европиевая, при этом спектры горизонтов Ап–А0 приближаются к усредненному спектру бурого угля терриконов Нелидово. Этот факт позволяет предположить существенную роль угольной пыли в качестве источника REE в верхней части профиля почвы.

Признаки антропогенного происхождения Pb и REE присутствуют в почвах заповедника, однако их источники разные – это автомобильный транспорт в случае свинца и, возможно, угольная пыль в случае редкоземельных элементов.

Мы сердечно благодарим Е.Ю. Новенко, Д.Н. Козлова, А.Н. Цыганова, Р.Б. Сандлерского, Т.А. Владимирову, Н.В. Брянского за помощь в отборе образцов и их анализе.

**Работа выполнена в рамках госзадания АААА-А18-118013190180-9 от 31.01.2018*

ЛИТЕРАТУРА:

- Пампура Т.В., Новенко Е.Ю., Дриль С.И., Владимирова Т.А., Зарубина О.В., Мейли М. История атмосферных выпадений свинца, архивированная в торфе верхового болота Старосельский мох, Тверская Область, Россия // Материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) Динамика современных экосистем в Голоцене. Пущино, 2016. С.172–173.
- Mukai H., Machida T., Tanaka A., Yelpatievskiy P.V., Uematsu M. Lead isotope ratios in the urban air of eastern and central Russia // Atmospheric Environment. 2001. V. 35. P. 2783–2793.
- Reimann C., Flem B., Fabian K., Birke M., Ladenberger A., Négrel P., Demetriades A., Hoogewerff J. Lead and lead isotopes in agricultural soils of Europe the continental perspective The GEMAS Project Team // Applied Geochemistry. 2012.V. 27. P. 532–542.
- Steinnes E., Friedland A. J. Metal contamination of natural surface soils from long-range transport: Existing and missing knowledge // Environ. Rev. 2006. № 14. P. 169–186.

ГЛУБИНА СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ В СИБИРИ В XXI ВЕКЕ, СМОДЕЛИРОВАННАЯ ПО СЦЕНАРИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА CMIP5

Е.И. ПАРФЕНОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН

Восемьдесят процентов территории Сибири связаны с проявлениями вечной мерзлоты (Достовалов, Кудрявцев, 1967). Только одна древесная порода *Larix dahurica* способна расти на почвах, подстилаемых вечной мерзлотой с сезонным протаиванием менее 2 м (Поздняков, 1983). Глубина сезонного протаивания почвы является важным фактором окружающей среды при прогнозах составов и структуры сибирских лесов. В нашей биоклиматической модели ареалов основных лесообразующих хвойных пород Сибири (Tshebakova, Parfenova, 2012) помимо трех климатических индексов (сумм тепла, выше 5°C, сумм холода, ниже 0°C, и индекса увлажнения, равного суммы тепла, выше 5°C/годового количества осадков) используется эдафо-литогенный показатель – глубина сезонного протаивания. Из экспериментальных данных мы установили, что глубина сезонного протаивания = 2м разделяет ареалы произрастания *Larix dahurica* и всех других хвойных. Получена регрессионная модель глубины сезонного протаивания в зависимости от климатических параметров приземного слоя воздуха.

Объекты и методы

Наши расчеты проведены для территории Сибири в окне с координатами 60-140 в.д./50-75 с.ш. Для этой территории нами на основе данных метеостанций были получены климатические слои распределения июльской и январской температур и годового количества осадков, усредненных за 30-летний базовый период (1961-1990). Используя данные 100 метеостанций, репрезентативно расположенных по территории, мы получили зависимости для пересчета трех упомянутых метеоэлементов в индексы – суммы градусо-дней за период с температурой выше 5°C, характеризующие приход тепла; суммы градусо-дней за период с температурами ниже 0°C, характеризующие приход холода; годовое количество осадков. Слои базовых метеоэлементов были пересчитаны в слои индексов. Все построения проводились в растровом пакете TerrSet v.18.21. Слой глубин сезонного протаивания был взят из работы (Malevsky-Malevich et. al., 2001; Малевский-Малевич и др., 2003); изображение было оцифровано, интерполировано и растеризовано с разрешением 0.1 градуса, как и климатические слои. Далее процедурой MULTIREG был проведен регрессионный анализ и получена зависимость глубины сезонного протаивания от трех

климатических индексов, выражающая зависимость этой глубины от годового баланса накопленных сумм тепла и холода.

Для получения слоев будущего климата мы использовали данные последней версии Обобщенного Доклада IPCC (2013, ipcc-data.org), усредненные для периода 2070-2099 и для ансамбля из 20 моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) для двух крайних сценариев изменения концентрации углекислого газа в атмосфере – мягкого (гср 2.6) и жесткого (гср 8.5). Для расчета глубин протаивания будущего климата была использована модифицированная формула Стефана (Доставалов, Кудрявцев, 1967):

$$ALD_2 = ALD_1 * (GDD_2 / GDD_1)^{1/2},$$

где – ALD_1 и ALD_2 – соответственно, глубины протаивания для условий современного и будущего климата; GDD_1 и GDD_2 – суммы градусо-дней теплого периода для условий современного и будущего климата.

Результаты

Зависимость глубины сезонного протаивания от климатических индексов приземного слоя воздуха имеет вид:

$$ALD = a_0 + a * GDD_5 + b * DD_0 + c * RMM;$$

$$R^2 = 0.86; n = 7.6 \text{ млн. пикселей,}$$

где – a_0 , a , b , c – коэффициенты; ALD – глубина сезонного протаивания; GDD_5 – сумма градусо-дней теплого периода; DD_0 – сумма температур ниже 0°C ; RMM – годовая сумма осадков.

Получены карты распределения глубины сезонного протаивания для современного и будущего климата. Сравнение критической для распространения большинства основных лесообразующих пород границы глубины протаивания, равной 2м, с независимыми картами распространения типов вечной мерзлоты (Kotlyakov and Khromova, 2002) показало, что она совпадает с южной границей прерывистой мерзлоты.

Обсуждение и заключение

Для распространения таких основных лесообразующих пород, как кедр сибирский, сосна обыкновенная, лиственница сибирская, пихта сибирская и ель сибирская, глубина протаивания менее 2м является критической (Поздняков, 1993). На таких участках может формировать насаждения только лиственница даурская. Поэтому при прогнозе изменения географических ареалов основных лесообразующих пород глубина сезонного протаивания является одним из значимых показателей.

Площадь с проявлениями сплошной и прерывистой вечной мерзлоты в Сибири сократится к концу века с 65 до 40%, а граница мерзлоты будет перемещаться на северо-

восток вслед за уменьшением континентальности климата. Несмотря на значительное повышение зимних и летних температур приземного слоя воздуха, увеличение сезонно-талого слоя будет происходить медленнее, чем прогревание воздуха, как следует из формулы Стефана. Полученная зависимость глубины сезонного протаивания от климатических факторов не учитывает различия в свойствах напочвенного покрова и грунтов (теплопроводность, влажность и т.п.), которые вносят свои поправки (Малевский-Малевиц и др., 2000) в определение глубины сезонного протаивания конкретных местообитаний. Таяние мерзлоты существенно изменит гидрологический режим, а, следовательно, условия увлажнения наравне с термическим режимом, являющимся определяющим в формировании структуры и продуктивности растительного покрова.

ЛИТЕРАТУРА:

- Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. 1967. Общее мерзотоведение. М: Издательство МГУ. 404 с.
- Малевский-Малевиц С.П., Молькентин Е.К., Надеждина Е.Д., Павлова Т.В., Шкляревич О.Б. 2003. Оценки возможных изменений глубин протаивания многолетнемерзлых грунтов на территории России в XXI веке// Метеорология и гидрология. 2003. № 12. С. 80-88.
- Малевский-Малевиц С.П., Молькентин Е.К., Надеждина Е.Д., Симонов В.В., Шкляревич О.Б. 2000. Модельные расчеты мощности толщи многолетнемерзлых пород и распределения глубин сезонного протаивания суглинков при современном климате на севере Западной Сибири// Криосфера Земли. 2000. № 4. С. 36-49.
- Поздняков Л.К. Лес на вечной мерзлоте. 1983. Новосибирск: Наука. 96 с.
- Kotlyakov, V. and T. Khromova 2002. Land Resources of Russia -Maps of Permafrost and Ground Ice, Version 1. Boulder, Colorado USA.NSIDC: National Snow and Ice Data Center. https://nsidc.org/fgdc/maps/perm_ext_browse.html
- Malevsky-Malevich S P, Molkentin E K, Nadyozhina E D and Shklyarevich O B 2001. Numerical simulation of permafrost parameters distribution in Russia// Cold Regions Science and Technology. V. 32: 1, p. 1–11. DOI:10.1016/S0165-232X(01)00018-0
- Tchebakova N.M., Parfenova E.I. 2012. The 21st century climate change effects on the forests and primary conifers in Central Siberia// Bosque. 2012. T. 33. № 3. p. 253-259.

ПИРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ СЕВЕРА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: АРХИВЫ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Д.Г. ПЕТРОВ, Н.С. МЕРГЕЛОВ, Э.П. ЗАЗОВСКАЯ, А.В. ДОЛГИХ, С.В. ГОРЯЧКИН

Институт географии РАН, Отдел географии и эволюции почв, Москва

Введение. Почвы и осадочные отложения наиболее полно сохраняют информацию о пирогенных событиях прошлого (Talon, 2010; Robin & Nelle, 2014; Marlon et al., 2016). Работы по изучению пирогенных архивов в осадочных отложениях превалируют над подобными исследованиями в почвах. Глобальная база данных по палеопожарам (www.paleofire.org), охватывающая последние 22 тысячи лет и основанная на изучении углистого материала в осадках и почвах, подтверждает факт большей изученности архивов палеопожаров в осадочных отложениях (Marlon et al., 2016). В России примером исследования именно почвенных архивов (нередко имеющих возраст сотни и тысячи лет) могут служить работы А. П. Чевычелова в Восточной Сибири (Чевычелов, 1997, 2013; Чевычелов, Шахматова, 2018) и М. В. Бобровского на Европейской территории России (Бобровский, 2010; Bobrovsky et al., 2018). Эти исследователи напрямую обратились к проблеме расшифровки почвенной записи пирогенных событий прошлого и связанной с ними цикличности почвообразования. В зависимости от ландшафтно-климатических условий глубокие (> 1 м) пирогенно-почвенные архивы могут формироваться при послепожарной эрозии, а также на меньших глубинах при ветровалах, по ходам сгоревших корней и в результате антропогенных турбаций.

При пожарах в экосистемах происходят как потери органического вещества в результате горения и последующей эрозии, так и его частичная стабилизация при неполном пирогенном окислении и захоронении в аккумулятивных позициях ландшафта (Certini, 2005; Shakesby & Doerr, 2006; Abney & Verhe, 2018). Послепожарная эрозия, в некоторых случаях, сильно влияет на картину распределения органического вещества, при этом часть органического вещества погребается, часть меняет свои свойства под воздействием пожара. Изменяются параметры его плотности, гидрофобности, ароматичности (Sander & Pignatello, 2005; Vodí et al., 2011; Дымов и др., 2015).

Представляется перспективным изучение пирогенно-почвенных архивов как аккумуляторов различных сигналов о состоянии экосистем в прошлом. Реалистичный период охвата объектов исследования – голоцен и поздний плейстоцен, что связано с наибольшей полнотой пирогенно-почвенной записи и наибольшей ее близостью к современным почвам. Особенно перспективной представляется концепция почвенно-геоморфологических ловушек,

в качестве которых, выступают почвы, сформировавшиеся в различных отрицательных формах рельефа, прежде всего, мезорельефа.

Задачи: 1) исследовать серии пирогенных почв, погребенных вследствие послепожарной эрозии в карстовых ландшафтах северной тайги Архангельской области (ключевой участок Пинежский район); 2) определить радиоуглеродный возраст погребенных пирогенных горизонтов; 3) оценить периодичность пожаров; 4) определить направление почвообразования в межпирогенные циклы.

Объекты и методы исследования. Район исследований расположен в 110 км к востоку от г. Архангельска поблизости от Пинежского заповедника на левом берегу р. Кулой. Широкое распространение карста обуславливает некоторые особенности почвенного и растительного покрова (Пучнина и др., 2000). В исследуемом районе почвы не раз проходили через ветровальные циклы (Васенёв, Таргульян, 1995), что помимо карстовых процессов и постпирогенной эрозии оказало влияние на турбированность почвенного профиля. Объекты исследования расположены на полях карстовых воронок и представлены подзолами иллювиально-гумусовыми и иллювиально-железистыми с разной мощностью подзолистого горизонта. В карстовых воронках различной глубины и диаметра было заложено несколько разрезов. Все разрезы находились не более чем в 500 м друг от друга. Было проведено полное морфологическое описание профилей почв. Для отдельных погребенных горизонтов двух разрезов при помощи ^{14}C ускорительной масс-спектрометрии был определен радиоуглеродный возраст древесных углей размером от 1-2 мм до 1 см, а также содержание органического углерода и азота методом сухого сжигания на анализаторе Elementar Vario Isotope.

Результаты. В погребённых подзолах углистые частицы образовывали как отдельные ярко выраженные прослой, залегающие согласно с формой карстовой воронки, так и были перемешаны с материалом минеральных горизонтов E, BF, BH, BHF и BC. Профиль первого разреза состоял из 6 погребенных почв и был заложен в наиболее древней воронке, что было заметно по её морфологии (она слабо выделялась в окружающем рельефе), а позднее подтвердилось по результатам радиоуглеродного датирования. Калиброванный возраст углей из самого нижнего горизонта в разрезе 1 составил 9174 ± 60 cal BP, а углистый материал самого молодого из погребенных пирогенных горизонтов имел возраст 5608 ± 18 cal BP. Профиль второго разреза был описан в более молодой воронке с крутыми склонами и глубиной более 2 метров. Калиброванный возраст углей из самого нижнего горизонта составил 1949 ± 27 cal BP, а самого верхнего из погребенных – 756 ± 25 cal BP. В исследуемых разрезах не всегда сохранялось последовательное увеличение возраста углей с глубиной, что

обусловлено, вероятно, нефронтальным действием карстовых процессов и вывалами после пожаров предыдущих лет.

Выводы. В районе исследования на севере Архангельской области лесные пожары имели место на протяжении почти всего голоцена. Информация о палеопожарах наиболее полно записана в почвах аккумулятивных форм рельефа, в карстовых воронках. На изучаемой территории происходили пожары разной длительности и интенсивности, что выражено в различной мощности пирогенных горизонтов и количестве углей в них. Почвообразование в межпирогенные стадии сохраняло единое направление на протяжении, как минимум, 9000 лет – профили подзолов регулярно реплицировались.

** Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60279 («Арктика»).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Бобровский М. В. Лесные почвы Европейской части России: биотические и антропогенные факторы формирования. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2010. 481 с.
- Васенёв И. И., Таргульян В.О. Ветровал и таёжное почвообразование (режимы, процессы, морфогенез почвенных сукцессий). Наука, 1995. 247 с.
- Дымов А. А., Милановский Е. Ю., Холодов В. А. Состав и гидрофобные свойства органического вещества денсиметрических фракций почв Приполярного Урала // Почвоведение, 2015. №11. с. 1335-1345.
- Пучнина Л.В., Горячкин С.В., Рыков А.М., Рыкова С.Ю., Шаврина Е.В., и др. Структура и динамика природных компонентов Пинежского заповедника (северная тайга ЕТР, Архангельская область). Биоразнообразие и георазнообразие в карстовых областях. Архангельск. 2000. 257 с.
- Чевычелов А. П. География, состав и свойства пирогенно-трансформированных мерзлотных почв Якутии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. 8. С. 193-196.
- Чевычелов А. П. Пирогенез и горно-таежное континентальное гумидное автоморфное почвообразование на северо-востоке Азии (на примере Южной Якутии). Новосибирск: СО РАН. 1997.
- Чевычелов А. П., Шахматова Е. Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение, 2018. №2. С. 243-252.
- Abney R. B. & Berhe A. A. Pyrogenic carbon erosion: implications for stock and persistence of pyrogenic carbon in soil // *Frontiers in Earth Science*, 2018. 6, 26. P. 1-16.
- Bobrovsky M. V., Kupriyanov D. A., & Khanina L. G. Anthracological and morphological analysis of soils for the reconstruction of the forest ecosystem history (Meshchera Lowlands, Russia) // *Quaternary International*. 2018. P. 1-13.
- Bodí, M. B., Mataix-Solera, J., Doerr, S. H., & Cerdà, A. The wettability of ash from burned vegetation and its relationship to Mediterranean plant species type, burn severity and total organic carbon content // *Geoderma*, 2011. 160(3-4). P. 599-607.
- Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // *Oecologia*, 2005. 143(1). P. 1-10.
- Marlon J. R., Kelly R., Daniiau A. L., Vannière B., Power M. J., Bartlein P., ... & Feurdean, A. Reconstructions of biomass burning from sediment charcoal records to improve data-model comparisons // *Biogeosciences (BG)*, 2016. 13. P. 3225-3244.
- Robin V. & Nelle O. Contribution to the reconstruction of central European fire history, based on the soil charcoal analysis of study sites in northern and central Germany // *Vegetation history and archaeobotany*, 2014. 23(1). P. 51-65.
- Sander M. & Pignatello J. J. Characterization of charcoal adsorption sites for aromatic compounds: insights drawn from single-solute and bi-solute competitive experiments // *Environmental science & technology*, 2005. 39(6). P. 1606-1615.
- Shakesby R. A., & Doerr S. H. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent // *Earth-Science Reviews*, 2006. 74. P. 269-307.
- Talon B. Reconstruction of Holocene high-altitude vegetation cover in the French southern Alps: evidence from soil charcoal // *The Holocene*, 2010. 20(1). P. 35-44.

ДИНАМИКА ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Н.В. ПОЛЯКОВА, Ю.Н. ПЛАТОНЬЧЕВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»

Зона распространения серых лесных почв отличается значительной изменчивостью климатических условий ввиду особенностей географического положения и значительным простираем в меридиональном направлении при движении с запада на восток Русской равнины и далее – к Западной и Средней Сибири (Классификация ..., 1977; Наумов, 2008). Правобережье Нижегородской области по климатическим показателям относится к Средне Русской провинции. Общей закономерностью изменения климата лесостепной зоны является уменьшение суммы температур и осадков с запада на восток и уменьшение гумидности с севера на юг. Под лесом годовая амплитуда температур выражена меньше, летом они слабее нагреваются, а зимой меньше охлаждаются, так как лесная подстилка и дернина выполняют роль теплоизоляции. Кроме того, в лесных экосистемах накапливается больше влаги, почва промачивается на большую глубину, что способствует развитию элювиального процесса и миграции соединений в нижние горизонты, наиболее интенсивно в весенне-осенние периоды (Ахтырцев Б.П., 1979).

В целинных серых лесных почвах почвообразование включает накопление растительных остатков на поверхности и формирование лесной подстилки, гумусово аккумулятивный процесс, оподзоливание, элювиальный и иллювиальный процессы, лессиваж и выщелачивание растворимых соединений. Сочетание этих процессов приводит к формированию профиля серых лесных почв по элювиально иллювиальному типу. В зависимости от ведущей роли тех или иных элементарных процессов и их интенсивности выделяют светло-серые, серые и темно-серые лесные почвы, основным отличием между которыми является усиление процессов гумусообразования от светло серых к подтипу темно серых лесных почв.

Темно-серые лесные почвы отличаются значительно большим содержанием гумуса и большей мощностью гумусового слоя, почти вдвое превышающем таковой в светло серых почвах. Общим признаком для всех подтипов серых лесных почв является то, что оподзоливание и элювиальный процесс наиболее сильно проявляются в горизонте A_1 , горизонт A_2B даже в темно серых лесных почвах отчетливо диагностируется по ореховатой структуре и кремнеземистой присыпке.

Мощность гумусового слоя изменяется от 22 см в светло серых лесных почвах до 38 см в темно серых лесных (Полякова, 2012). Интервалы содержания гумуса составляют: 1.7-3.7% в светло серых лесных; 2.3 – 4.4% в серых лесных типичных и 4.1-6.3% в темно серых лесных почвах. Максимальные значения коэффициента вариации выявлены в серых лесных типичных почвах ($V=21\%$), минимальные в темно серых ($V=11\%$); для вариационной обработки использовались данные 63 почвенных разрезов.

Важнейшим показателем гумусового состояния почв является распределение гумуса в метровой толще, что в общих чертах характеризует гумусовый профиль почвы. Максимальными запасами гумуса характеризуются лесные экосистемы темно серых лесных почв – 324 т/га, тогда как в светло-серых лесных почвах запасы составляют всего 123 т/га, причем 50% запасов гумуса здесь сосредоточено в слое 0-20 см, тогда как в подтипе темно серых лесных почв в горизонте A_1 содержится не более 38 %.

Светло серые и типичные серые лесные почвы биоценозов характеризуются гуматно фульватным гумусом с преобладанием ФК – 1 (11.3 – 14.7% от общего содержания), в темно – серых лесных почвах доля ФК-1 снижается до 6.7%, а фракция ГК-2 увеличивается с 8.8-9.4% до 32.2% за счет чего тип гумуса переходит в гуматный. Кроме того, в светло серых лесных почвах в составе гумуса преобладает фракция гумина (43%), тогда как в типичных почвах ее доля составляет 35%, а в темно серых лесных снижается до 24%.

По мнению многих исследователей легкоразлагаемое органическое вещество (ЛОВ) является важнейшим диагностическим признаком, характеризующим интенсивность процессов минерализации и гумификации в почвах при трансформации естественных и пахотных угодий, в сезонной динамике гумуса; ему принадлежит ведущая роль в оптимизации физических свойств и питательного режима (Полякова, Платонычева, 2007; Ганжара и др, 2010). ЛОВ подвергается в почве активным процессам минерализации, при этом освобождается значительное количество элементов питания, необходимых для образования биомассы растений. По мнению некоторых исследователей, (Борисов, 2008; Кирюшин, 2010), скорость обновления ЛОВ измеряется десятками лет, иногда годами, в то время как гумусовых веществ – сотнями и тысячами лет. Так как в почвах лесных экосистем не происходит отчуждения растительных остатков, и они все вовлекаются в процесс гумусообразования, то целинные категории земель максимально обогащены легкоразлагаемым органическим веществом, однако его содержание существенно изменяется в зависимости от подтипа серых лесных почв. Максимальное количество установлено в светло-серых лесных почвах (0.89% или 58% от общего углерода), минимальное – в темно-серых лесных (0.60% или 19% соответственно). Отношение C:N в составе ЛОВ лесных почв

варьирует от 22.8 до 28.3. Исследования химического состава ЛОВ не выявило особых различий в зависимости от подтипа, везде преобладают лигнин (21 24%) и целлюлоза (9 11%) при минимальном содержании белков (4.3 – 4.4 %).

Сложение почвы, плотность, пористость, влагоемкость и другие водно-физические свойства зависят преимущественно от структурно-агрегатного состояния почвы. Значение корневых систем древесных и травянистых растений в образовании мезоагрегатов заключается в том, что корни, пронизывая почву, разделяют ее массу, сжимая и насыщая органическим веществом, придают агрегатам форму комка или зерна, связывают их, способствуя механической прочности и водопрочности. Наши исследования показали, что почвы лесных экосистем характеризуются отличным структурным состоянием, при этом достоверных различий в содержании фракций в зависимости от подтипа не выявлено, так, содержание агрономически ценных фракций варьировало от 86 до 90%, а водопрочных от 67 до 75%. Установлено, что именно гумусу принадлежит основная роль в формировании крупных, устойчивых к разрушающему действию воды агрегатов. Самые крупные водопрочные агрегаты размером >3 мм в большей степени обогащены гумусом, чем почва в целом. С уменьшением размера почвенных частиц содержание в них гумуса снижается независимо от подтипа почвы. Наиболее значительное снижение гумуса в агрегатах проявилось во фракциях размером <1 мм, в более мелких пылеватых фракциях падение гумуса продолжилось, но не столь резко. Наименее гумусированной являются фракции <0,5 мм, причем все варианты характеризуются примерно одинаковым содержанием гумуса в микроагрегатах – 0,8-1,3%.

Таким образом, установлено, что серые лесные почвы естественных биоценозов северной лесостепи существенно отличаются по содержанию гумуса, его фракционно-групповому составу и содержанию легкоразлагаемого органического вещества. Тогда как элементный и химический состав ЛОВ практически одинаков, как и структурно-агрегатное состояние почв, которое зависит в большей степени от корневых систем древесных и травянистых растений, а также от содержания органического вещества, которое способствует формированию агрономически ценных водопрочных агрегатов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Ахтырцев Б.П. Серые лесные почвы Центральной России. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1979. – 234 с.
Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
Наумов В.Д. География почв. – М.: КолосС, 2008. 288с.
Полякова Н.В. Эволюция серых лесных почв в агроландшафтах северной лесостепи. Дисс...докт. биол. наук, М., 2012. 338с.
Полякова Н.В., Платонычева Ю.Н. Легкоразлагаемое органическое вещество как показатель антропогенной эволюции серых лесных почв // Доклады РАСХН, 2007. № 3. С.28-31.
Ганжара Н.Ф. и др. Оптимизация содержания лабильного органического вещества в почвах лесостепи Поволжья / Н.Ф. Ганжара // Плодородие, 2010. № 5. С. 15-16.

ДАВЛЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЛЕСА

И.И. СУДНИЦЫН

Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

Продуктивность древесных насаждений зависит от множества факторов, и среди них водному режиму растений принадлежит важное место, так как значительная их часть расположена в зонах с постоянно или переменнo засушливым климатом. Водный режим растений складывается в процессе их взаимодействия с почвой и атмосферой и поэтому зависит от свойств всех частей единой системы «почва – растения – атмосфера», называемой обычно экологической системой или биогеоценозом (БГЦ). К сожалению, до сих пор эти три составляющих единого БГЦ изучают специалисты различных дисциплин: атмосферу – метеорологи, почву – физики и гидрологи почв, а растения – физиологи растений. Они накопили много ценнейших сведений, но, к сожалению, пользовались разными методическими подходами, поэтому результаты их исследований с трудом поддаются сопряжению (Роде, 1965). Положение значительно облегчилось после того, как состояние воды в этих частях единой системы стали описывать с помощью термодинамического потенциала (или давления влаги), который позволяет оценить силу удержания воды и почвой, и живыми организмами, и атмосферой. Это позволяет проанализировать процессы поглощения воды корнями из почвы, ее передвижения в растениях и испарения в атмосферу, поскольку поток воды на границе почва — корень пропорционален градиенту давления (РП) почвенной влаги и коэффициенту влагопроводности почвы (К) (Судницын, 1979).

Для проверки этого положения были измерены поля влажности почвы (В) на посадках дуба на черноземе, и на основании имеющихся зависимостей между В, РП и К был рассчитан поток влаги (П) к корням. Принято считать, что диапазон В, в пределах которого почвенная влага доступна растениям (ДДВ), ограничивается сверху полевой влагоемкостью (ПВ), а снизу В устойчивого завядания растений (ВУЗ). Оказалось, что при уменьшении В от ПВ до середины ДДВ К быстро уменьшается, однако градиент РП около поглощающей поверхности корня столь же быстро увеличивается, компенсируя снижение К, и П остается на постоянном уровне. Таким образом, в этом интервале «легкодоступной влаги» растения могут сопротивляться снижению К и РП, понижая давление влаги в поглощающих тканях корней, и

интенсивность поглощения влаги (и, следовательно, транспирации) зависит главным образом от метеорологических условий (испаряемости).

В интервале от 50 до 15% ДДВ К продолжает падать. Градиент РП продолжает увеличиваться, но со скоростью, недостаточной для компенсации падения К, что приводит к постепенному снижению П и влагосодержания растений, частичному прикрыванию устьиц и, следовательно, замедлению транспирации растений.

В интервале от 15% ДДВ до ВУЗ уменьшаются и К, и градиент РП, что приводит к резкому падению П до уровня, не обеспечивающего даже минимальной потребности растений в воде, почти полному закрытию устьиц и, следовательно, почти полному прекращению транспирации.

Сопоставление результатов этих расчетов с эмпирически определенной скоростью иссушения почвы при различной влажности показало, что они совпадают. Это свидетельствует о правомерности применения термодинамического подхода к анализу поглощения деревьями почвенной влаги. Однако в природных условиях, особенно в лесных биогеоценозах, складываются сложные, многочленные растительные комплексы, причем разные их компоненты могут существенно отличаться по экологическим свойствам. Точно рассчитать водный режим таких биогеоценозов пока еще не удастся, однако термодинамический подход позволяет провести анализ сложных ситуаций и на основании данных о динамике давления почвенной влаги более точно оценить доступность почвенной влаги для растений, чем это позволяют сделать данные о динамике влажности почв. В качестве иллюстрации ниже приводятся результаты определения динамики давления влаги в почвах под лесными насаждениями в различных биоклиматических зонах (Судницын, Каманина, 2007; Судницын, 2017). По этим данным была определена и доступность почвенной влаги растениям. Для этого на основании соотношения полного РП в почвах и скорости расхода почвенной влаги были установлены нижние границы РП для различных интервалов ДДВ в различных климатических зонах. Для легкодоступной влаги они соответствуют: в лесной зоне -3 атм, степной -5, полупустынной -7; для средnedоступной: в лесной зоне -8, степной -10, полупустынной -12; для труднодоступной: в лесной зоне -20, степной -25, полупустынной -30 атм.

При определении этих границ учитывалась специфика биоклиматических зон. Во-первых, в почвах северных, таежных районов при одном и том же полном давлении роль капиллярной составляющей гораздо выше, чем в почвах южных, степных и пустынных районов. Это приводит к более низкому К и, следовательно, к значительному снижению

доступности влаги растениям. Во-вторых, учитывалась и большая приспособленность растений засушливых зон к потреблению почвенной влаги при низком РП.

Анализ динамики давления почвенной влаги под лесом в различных климатических зонах, проведенный с учетом приведенных выше значений РП для различных интервалов ДДВ, показал, что в еловых лесах южной тайги в течение трех вегетационных периодов в ельниках в песчаной подзолистой почве постоянно присутствовала легкодоступная влага, а периодически отмечалось даже переувлажнение.

В зоне смешанных лесов для водного режима почв различного гранулометрического состава в ельниках, липняках и дубняках характерно постоянное наличие легкодоступной влаги. Ее нет в отдельные сроки лишь в самом верхнем горизонте. Увлажненность почв под лесом в целом следует считать достаточной.

В лесостепной зоне для темно-серых почв под дубово-ясеневыми массивами характерна периодически недостаточная увлажненность. Из шести лет лишь один год отличался достаточной увлажненностью, когда в почве в течение всего вегетационного периода присутствовала средnedоступная влага, три года — достаточной увлажненностью в течение большей части вегетационного периода, и два года были засушливыми, поскольку в конце вегетационного периода в почвах отсутствовала доступная влага. В темно-серой осолодело-солонцеватой почве под дубняком верхние горизонты не содержали легкой средnedоступной влаги, и даже труднодоступной влаги в них оставалось очень мало.

В степной зоне режим давления влаги в черноземе под дубовыми насаждениями свидетельствует о постоянном недостаточном увлажнении. Легкой средnedоступная влага потребляется насаждениями, как правило, уже в первой половине вегетационного периода, а во второй половине его древостой вынужден довольствоваться скудными запасами труднодоступной влаги, которые еще сохранились в глубоких горизонтах.

Для водного режима зоны сухой степи в посадках дуба и вяза характерно недостаточное увлажнение почв под лесными полосами. Несмотря на ежегодное глубокое промачивание почвы тальми водами (до 1.5 м), легкой средnedоступная влага потребляется из основной части корнеобитаемой толщи уже в первой трети вегетационного периода. Труднодоступная влага из верхнего полуметрового слоя полностью поглощается к середине вегетационного периода, и во второй половине его древостой вынужден ограничиваться небольшими запасами труднодоступной влаги из более глубоких слоев.

В полупустынной зоне в солончаковатых солонцах под вязом мелколистным, ясенем пенсильванским и лохом узколистным в течение лишь одного месяца (редко двух) имеется доступная влага. Все остальное время даже труднодоступная влага появляется лишь после

выпадения редких дождей. В таких условиях древесные растения не могут формировать устойчивые насаждения.

ЛИТЕРАТУРА:

- Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометиздат, 1965, 663 с.
Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979, 255 с.
Судницын И.И., Каманина И.З. Экологическая гидрофизика почв. Дубна: Междунар. ун-т природы, о-ва и человека «Дубна», 2008, 181 с.
Судницын И.И. Закономерности поглощения почвенной влаги растениями. М.: МАКС Пресс, 2017, 107 с.

СВОЙСТВА ПОЧВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАБРОШЕННЫХ ПАШНЯХ ЮГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.Г. ХАНИНА¹, М.В. БОБРОВСКИЙ², В.Э. СМИРНОВ^{1,3}, К.В. ИВАЩЕНКО²

¹ Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им М.В. Келдыша Российской академии наук, г. Пущино

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Для Заокского участка Серпуховского района Московской области на ландшафтном и локальном уровнях ранее было показано, что травяные пожары изменяют растительность и свойства почв при зарастании сельскохозяйственных земель (Khanina et al., 2018). Однако, на локальном уровне не исследовались территории с разной частотой травяных пожаров. Цель работы – изучить вариацию свойств почв на зарастающих пашнях, выведенных из сельскохозяйственного оборота 25–30 лет назад и подвергшихся действию более и менее частых травяных пожаров. Полевые исследования проводили в 2018 г. на трех ключевых участках: (1) Каргашино, (2) Агарино и (3) Присады; все расположены на серых лесных почвах. На всех участках присутствуют бывшие пахотные земли, выведенные из оборота в начале 1990х годов, пограничные со старой лесной территорией и различающиеся по частоте травяных пожаров на них. Частота пожаров была установлена путем анализа архива космических снимков среднего разрешения Landsat за 1989 – 2015 гг. (Bobrovsky, Khanina, 2018), сопряженных с натурными наблюдениями в 2015–2018 гг. В результате на каждом участке было выделено по три или четыре биотопа: (1) часто горимая залежь, последние травяные палы наблюдались весной 2017 года; (2) редко горимая залежь; (3) молодой березовый лес – негорелая залежь. Горимые залежи представляли собой травяные сообщества с доминированием *Calamagrostis epigeios*; на относительно редко горимых залежах

выделялись также пятна с доминированием *Angelica sylvestris* и *Urtica dioica*. В качестве самостоятельного биотопа рассматривался (4) "старый лес" – примыкающий к залежам участок старой лесной территории, осиново-березовый лес с липой и дубом и доминированием неморальных видов трав в напочвенном покрове. В каждом биотопе выполнено по 3 геоботанических описания (всего 30 описаний) на площадках 10 × 10 м; там же отобрано по 3 образца почв (30 образцов) методом конверта в верхнем (10 см) слое. В ЦКП ИФХиБПП РАН для каждого образца определены содержания С, N, Сорг. (SOM), рН.KCl, рН.H2O, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, K₂O, P₂O₅, гигроскопическая влажность и гранулометрический состав. Также были определены характеристики микробного населения почв: углерод микробной биомассы C_{mic}, базальное дыхание BR, и микробный метаболический коэффициент qCO₂. Оценку вкладов участков и биотопов в вариацию характеристик почв проводили в среде статистического программирования R (R Core Team, 2018). Выполняли однофакторный дисперсионный анализ ANOVA и v-test (Husson et al., 2017). Для оценки влияния почвенных характеристик на участие видов напочвенного покрова в программе PcOrd 7.06 (McCune, Mefford, 2016) выполняли каноническую (прямую) ординацию геоботанических описаний всех трех участков dbRDA с использованием расстояния Брея-Кертиса по алгоритму Legendre, Anderson (1999). В качестве предикторов были выбраны рН.KCl, SOM, P₂O₅, K⁺, C/N и процент частиц размером более 0.01 мм (песок).

Анализ почвенных характеристик показал, что N, C и H значимо различались между участками: эти переменные имели максимальные средние значения на участке 2 (0.3, 4.0 и 0.8) и минимальные на участке 3 (0.2, 2.3 и 0.6). Между биотопами статистически значимо различалось большинство исследуемых характеристик почв. В молодых березовых лесах, растущих без пожаров, максимальна средняя кислотность почв (рН.KCl 4.9); в них минимальные средние значения N (0.2), H (0.6) и Ca²⁺ (28.4). Вместе с тем статистически значимые минимальные значения Собщ. и Сорг. наблюдались на часто горимых залежах (2.2 и 2.0). Там же были минимальные значения C/N (11.6), максимальные значения P₂O₅ (30.8) и рН.KCl (5.5). Относительно редко горимые залежи значимо отличались максимальными значениями K⁺ (1.1). "Старый лес" статистически значимо отличался максимальными значениями N (0.3), Собщ. (4.1) Сорг. (3.6), C/N (13.4), H (0.8) и Ca²⁺ (36.5) и минимальными значениями P₂O₅ (6.4); доля песка была максимальна (64.6), а доли более мелких частиц минимальны. Биотопы статистически значимо различались по показателям микробной активности C_{mic} и BR: эти показатели были максимальны в "старом лесу" (943.9 и 2.1); C_{mic} было минимально в молодом березняке (679.9) и BR минимально на часто горимых залежах

(1.3). Прямая ординация геоботанических описаний показала, что первые три канонических оси объясняют около 38% от общей дисперсии (24, 9 и 5% первая, вторая и третья оси, соответственно); первая ось является значимой (значимость остальных осей не оценивается в программе PcOrd). На ординационной диаграмме площадки сгруппированы по биотопам: "старый лес" и залежи с пожарами расположены в противоположных концах первой канонической оси; залежь без пожаров отстоит от этих биотопов по второй оси. Наибольшие корреляции с осями имеют почвенные характеристики: с первой осью CN ($r = 0.83$), P2O5 (-0.78), процент песка (0.76) и SOM (0.66); со второй осью рН.KCl ($r = -0.93$) и с третьей осью К ($r = -0.71$) и SOM (-0.64).

Таким образом, проведенное исследование показало, что несмотря на разницу в выбранных участках, биотопы, сформированные после 25–30 лет забрасывания пашен без травяных пожаров и с пожарами разной частоты воздействия, достаточно хорошо различаются между собой по почвенным характеристикам. Частые пожары приводят к уменьшению содержания углерода в почве, уменьшению микробного дыхания, увеличению содержания фосфора и повышению рН. Менее частые пожары не дают восстановиться лесной растительности, биотопы имеют промежуточные параметры по основным почвенным характеристикам, при этом хранят калий, что в целом может быть объяснено высокой скоростью обменных процессов в травянистых сообществах. Результаты, полученные по залежам без пожаров (молодым лесам) и лесным сообществам на старой лесной территории, подтвердили и дополнили результаты, полученные ранее (Khanina et al., 2018): в "старом лесу" наблюдаются высокие показатели почвенного богатства и почвенной микробной активности; в молодом лесу отмечены низкие показатели почвенного богатства, содержания углерода микробной биомассы и высокие значения кислотности почв. Значимое снижение значений многих почвенных переменных в молодом лесу хорошо объясняется процессом активного роста древостоя, когда молодые деревья эффективно забирают элементы из почвы, тратят их на рост/биомассу и мало возвращают с опадом (Гульбе, 2009; Лебедев, 2013). Дальнейшие исследования биотопов, формирующихся на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота, должны способствовать пониманию процессов восстановления и формирования почвенного покрова в целом на территориях, давно освоенных человеком.

ЛИТЕРАТУРА:

- Гульбе А.Ю. Процесс формирования молодняков древесных видов на залежи в южной тайге. Диссертация. Институт лесоведения РАН, Успенское. 2009. 167 с.
- Лебедев Е.В. Продуктивность, фотосинтез и минеральное питание луба черешчатого, березы пушистой и липы сердцевидной в Европейской части России на уровне организма в онтогенезе // Вестник Московского государственного университета леса. Т. 95. № 3. С. 33–39.

Bobrovsky M., Khanina L. Effects of grass fires on the trajectory of vegetation dynamics in abandoned agricultural lands: a 30-year retrospective based on remote sensing data (a study of an area south of the Moscow Region) // *KnE Life Sciences*. V. 4(7). P. 72–79. DOI: 10.18502/KLS.V4I7.3222.

Husson F., Le S., Pagès J. *Exploratory multivariate analysis by example using R*. 2nd edition. Chapman & Hall/CRC. 2017. 248 pp.

Khanina, L.G., Smirnov, V.E., Romanov, M.S., Bobrovsky, M.V. Effect of spring grass fires on vegetation patterns and soil quality in abandoned agricultural lands at local and landscape scales in Central European Russia // *Ecological Processes*. 2018. V. 7: 38. doi 10.1186/s13717-018-0150-8.

Legendre P., Anderson M.J. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments // *Ecological Monographs*. 1999. V. 69. P. 1-24.

McCune B., Mefford M.J. *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 7.06. Gleneden Beach, Oregon, USA: MjM Software, 2016.

R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. URL: <http://www.R-project.org>.

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ

О.Г. ЧЕРТОВ

Бингенский политехнический университет, Бинген, Германия

Математическое моделирование в естественных науках является наиболее точным количественным методом генерализации экспериментальных данных для получения прогнозных оценок и даже новых данных, прямо не связанных со структурой модели изучаемого объекта или явления. Это в полной мере справедливо и по отношению к почве, как самобытному природному телу и важнейшему компоненту природных и антропогенных экосистем. При этом, математическая имитация динамики органического вещества (ОВ) почвы, как важнейшего макропроцесса, определяющего собственно направленность почвообразования и плодородие почв, является ведущим звеном в цепи задач по моделированию почвенной системы.

Первой попыткой математического описания процесса формирования ОВ почвы является полином П.А.Костычева (1886), который был использован А.А.Роде (1937) для расчета скорости формирования ОВ. В последующем появились уравнения И.В.Тюрина (1937) и Иенни (Jenny et al., 1949), также описывающие формирование ОВ почвы.

Однако с функции минерализации ОВ почвы Олсона (Olson, 1963) начался современный этап развития моделирования ОВ почв с основным акцентом на “разложение” (фактически минерализацию) ОВ, без рассмотрения процессов гумусообразования (Braakhekke et al., 2011).

К рубежу тысячелетий было создано значительное количество моделей динамики ОВ почвы (см. обзоры *Динамическое...*, 2007; Manzoni, Porporato, 2009; Komarov et al., 2017).

Большинство моделей представляет собою каскад пулов ОБ с разной скоростью минерализации и нередко с пулом микроорганизмов, а также с «эмпирическими» потоками ОБ от опада к устойчивому ОБ. Только в одной модели (Q model, Ågren, Bosatta, 1998) трансформация ОБ почвы рассматривается как непрерывный процесс во всей массе ОБ, снижающей свое «качество» по мере его трансформации. Основным драйвером динамики ОБ считались только о, и только в одной модели отражалась роль почвенной фауны в гумусообразовании (Chertov et al., 2001). Наиболее интенсивно моделирование развивалось в агропочвоведении, но в ряде моделей имеются их лесные версии (Century, RothC, DNDC). Кроме того, большое количество моделей динамики ОБ почвы интегрировано в модели лесных и агроэкосистем (Parton et al., 1988; Zhang et al., 2002; Komarov et al., 2003).

В начале XXI века в моделировании ОБ почв появились новые тенденции. Кроме классического подхода определения темпов минерализации по убыли веса ОБ предложен метод вычисления скорости минерализации ОБ как его потребление активными микроорганизмами (Blagodatsky et al., 2010). Также решается задача параметризации роли почвенной фауны в динамике ОБ почвы, и уже имеется модель с расчетом вклада почвенной фауны в гумусообразование (Komarov et al., 2017).

В настоящее время также реализуется идея создания комплексных систем принятия решений в природопользовании, в которых модели динамики ОБ и элементов питания играют ключевую роль. Это финская лесохозяйственная система MELA (Hirvelä et al., 2017) и эколого-агрономическая система APSIM (2018).

В заключение следует отметить, что моделирование динамики ОБ почв, будучи инструментом функционального почвоведения и эдафологии вступает в фазу своего практического использования для а) прогнозных оценок изменения почвы как производительной силы в биоэкономике, и б) сохранения продуктивности экосистем, биоразнообразия и регулирования баланса углерода в биосфере.

ЛИТЕРАТУРА:

- Костычев П.А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. СПб. : изд. А. Ф. Девриен. 1886. 230 с.
- Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. М.-Л.: Сельхозгиз. 1937. 288 с.
- Роде А.А. Подзолообразовательный процесс. М.; Л.: Сельхозгиз. 1967. 454 с.
- Чертов О.Г., Комаров А.С., Надпорожская М.А. и др. Динамическое моделирование трансформации органического вещества почв. Имитационная модель ROMUL. СПб.: Изд. СПбГУ. 2007. 97 с.
- APSIM Initiative. 2018. URL <http://www.apsim.info/>
- Ågren G.I., Bosatta E. Theoretical Ecosystem Ecology –UnderstandingElement Cycles. Cambridge: Cambridge University Press. 1998.
- Blagodatsky S., Blagodatskaya E., Yuyukina T. et al. Model of apparent and real priming effects: Linking microbial activity with soil organic matter decomposition // Soil Biol. Biochem. 2010. V. 421. P. 275-1283
- Braakhekke M.C., Beer C., Hoosbe, M.R. et al. SOMPROF: a vertically explicit soil organic matter model // Ecol. Model. 2011. V. 222. P: 712–1730.

- Chertov, O.G. Komarov, A.S., Nadporozhskaya, M.A. et al. ROMUL – a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modelling. // Ecol. Model. 2001. V. 138. P. 289-308.
- Hirvelä H., Härkönen K., Lempinen R., Salminen O. MELA2016 Reference Manual. Helsinki. 2017. 547 p.
- Jenny H., Gessel S.P. Bingham F.T. Comparative studies of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions // Soil Sci. 1949. V. 68. P. 419 – 432.
- Komarov A., Chertov O., Zudin S., et al. EFIMOD 2 A model of growth and elements cycling in boreal forest ecosystems // Ecol. Model. 2003. V. 170. P. 373-392.
- Komarov A., Chertov O., Bykhovets S., et al. Romul_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. I. Problem formulation, model description, and testing // Ecol. Model. 2017. V. 345. P. 113–124.
- Manzoni S., Porporato A. Soil carbon and nitrogen mineralization: theory and models across scale // Soil Biol. Biochem. 2009. V. 41. P. 1355–1379.
- Parton W.J., Stewart J.W.B., Cole C.V. Dynamics of C, N, P and S in grasslands soils: a model. – Biogeochemistry. 1988. V. 5. P. 109–131
- Zhang Y., Li C. S., Zhou X. J., Moore B. A simulation model linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. Ecol. Model. 2002. V. 151P. 75–108.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЕСКОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ В ПОЛЕССКИХ ЛАНДШАФТАХ КЕРЖЕНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

О.В. ШОПИНА, Н.Г. КАДЕТОВ, И.Н. СЕМЕНКОВ

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

Керженский заповедник расположен в Заволжской части Нижегородской области и начиная со второй половины XIX века подвержен периодическим катастрофическим лесным пожарам. В ходе изучения восстановления растительного покрова на пройденных пожаром 2010 г. территориях, в пределах эолово-водноледниковых ландшафтов обнаружены протяжённые ложбины, осложнённые котловинами выдувания и всхолмлениями, занятые комплексом сообществ с участием липы и осины и характеризующиеся повышенным фиторазнообразием (Кадетов, 2018). Для этого комплекса характерна значительная сохранность состава и структуры сообществ, а также высокая фитоценотическая роль широколиственных и лесостепных («южноборовых») видов. В его составе отмечено большое число редких видов как масштаба флоры заповедника, так и всего биома (Биомы России, 2016), среди которых такие требовательные к почвенному плодородию виды, как пыльцеголовник красный (*Cephalanthera rubra* (L.) Rich.), кокушник длиннорогий (*Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br.), кадения сомнительная (*Kadenia dubia* (Schkuhr) Lavrova et V. Tichomirov).

Целью настоящего исследования было выяснение особенностей почвенно-геохимических условий полесских ландшафтов Керженского заповедника, определивших повышенное фиторазнообразие.

В августе 2017 г. на водоразделе рек Большая Черная и Пугай (левые притоки Керженца) на четырёх ключевых участках исследована флювиогляциальная ложбина и прилегающее к ней водораздельное пространство. Ключевые участки были расположены следующим образом: 2 на фоновой территории в окрестностях ложбины – с сохранившейся после пожаров растительностью и полностью выгоревшей, и 2 в пределах ложбины на всхолмлениях и в котловинах выдувания. На каждом участке проводили геоботанические описания по стандартным методикам (Методы..., 2002; Сукачёв, Зонн, 1961) и закладывали разрез с опробованием почв по генетическим горизонтам. Кроме того, выполняли маршрутные флористические наблюдения для сопоставления флоры указанного комплекса сообществ с флорой заповедника в целом и его части, пройденной пожарами 2010 г.

Пробы проанализированы по четырем показателям: величина pH, содержание органического вещества (Сорг) стандартными методами, гранулометрический состав дифрактометрически и валовое содержание элементов рентген-флуоресцентным методом в Эколого-геохимическом центре МГУ имени М.В. Ломоносова.

Дерново-подзолы заповедника имеют песчаный состав с преобладанием фракции среднего песка в связи с развитием на флювиогляциальных песках. Для всех почв характерны кислые и слабокислые значения pH. Наибольшая кислотность характерна для фоновых участков с сохранившейся после пожаров растительностью. Наименьшей кислотностью отличаются выгоревшие участки котловины в пределах ложбины и фоновые за счёт возможного накопления части мигрирующих веществ.

Содержание Сорг максимально в почвах котловин в пределах ложбины, что, вероятно, связано с большим количеством травянистого опада и минимально в почвах горелого фонового участка в связи с минерализацией органического вещества при высоких температурах (Дымов и др., 2014; Цибарт, Геннадиев, 2008).

Изученные дерново-подзолы обогащены микроэлементами относительно фоновых почв таёжных ландшафтов на песчаных отложениях (Семенков и др., 2017). Особенно высокие уровни характерны для почв, развитых в котловинах в пределах ложбины, что может способствовать увеличению фиторазнообразия за счёт видов, требовательных к качеству среды обитания.

В горизонте АУ изученных почв среднее содержание Mn, Co и Cu превосходит в 1,5, 4,0 и 1,5 раза соответственно типичные уровни по (дерново-)подзолам полесских ландшафтов Восточной Европы (Семенков и др., 2017). Содержание Ni, Pb и Zn в горизонте АУ превышает содержание в почвах Украинского Полесья (Самчук и др., 2007), а Mn, Sr, Cr, Pb, Cu и Ni – больше, чем в почвах Белорусского Полесья (Позняк, 2011), что, вероятно, является

одной из причин повышенного фиторазнообразия в рамках описанного комплекса сообществ в изученных ландшафтах Керженского заповедника.

На площадках геоботанических описаний с учётом данных за предыдущие годы и флористических наблюдений на маршрутах встречено 169 видов сосудистых растений из 51 семейства, что составляет 26% видов флоры заповедника в целом (Урбанавичуте, 2014) и 69% видов, встреченных на выгоревших в 2010 г. территориях. При этом исследуемый участок, занимая <1% площади заповедника, не отличается большим разнообразием местообитаний, что позволяет связать столь высокий уровень флористического богатства с наличием уникальных местообитаний и/или сообществ. Высокий уровень флористического богатства и значительная, по сравнению с окружением, сохранность сообществ после пожаров позволяют рассматривать данную территорию в качестве своеобразного рефугиума в период возгораний и источника последующего расселения видов.

Таким образом можно сделать следующие выводы: формирование растительных сообществ с участием широколиственных пород в Керженском заповеднике связано с обогащённостью микроэлементного состава материнских флювиогляциальных песков. Флора флювиогляциальной ложбины насчитывает 169 видов, что является высоким показателем как в рамках пройденных пожарами территорий, так и всего Керженского заповедника. Сочетание условий местообитания, спектров видов по факторам увлажнения, трофности и эколого-ценотическим группам позволяет рассматривать обследованный участок не только как территорию, богатую редкими для Заволжья видами, но и как уникальный рефугиум послепожарного расселения видов неморального и лесостепного (южноборового) комплексов.

Высокую ценность и богатство территорий флювиогляциальной ложбины подтверждают данные почвенно-геохимических исследований. Дерново-подзолы ложбины обогащены микроэлементами относительно фоновых почв Полесий. Выявленные уровни содержания микроэлементов в песчаных дерново-подзолах Керженского заповедника сопоставимы с уровнями, типичными для суглинистых почв тайги. Особенно высокие значения характерны для почв котловин в пределах ложбины, что, вероятно, связано с поступлением сюда элементов с латеральными потоками. Повышенные уровни содержания микроэлементов в почвах могут способствовать увеличению биологического разнообразия за счёт заселения субстрата видами, требовательными к качеству среды.

ЛИТЕРАТУРА:

Биомы России. Карта М 1:7 500 000 / под ред. Г.Н. Огуреевой. М.: ООО "Финансовый и организационный консалтинг", 2016.

Дымов А. А., Дубровский Ю. А., Габов Д. Н., Жангуров Е. В., Низовцев Н. А. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почв. // Лесоведение. 2014. № 6. С. 26-36.

Кадетов Н.Г. Флористические особенности сообществ с участием липы и осины на пройденных пожарами территориях в Заволжье // Самарская лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27. № 4 (1). С. 131–136.

Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.

Позняк С.С. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах и растительности Центральной зоны Республики Беларусь // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2011. Вып. 1. С.254–264.

Самчук А.И., Огарь Т.В., Дмитренко К.Э. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах Украинского Полесья // Пошукова та екологічна геохімія. 2007. №1 (6). С. 43-45.

Семенов И.Н., Касимов Н.С., Терская Е.В. Поведение форм металлов в зональных почвенно-геохимических катенах // Геохимия ландшафтов. К 100-летию со дня рождения Александра Ильича Перельмана. М.: АПР, 2017. С. 97 – 144.

Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

Урбанавичуте С.П. Дополнения к флоре сосудистых растений заповедника «Керженский» по результатам исследований 2000-2013 гг. // Труды ГПБЗ «Керженский». Т. 6. Нижний Новгород: Заповедник «Керженский», 2014. С. 81-107.

Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. №7 – С 783-792.

КРУПНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ ОСТАТКИ В МУССОННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ ВЬЕТНАМА: НЕИЗУЧЕННЫЙ ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Е.В. ШОРОХОВА^{1,2}, Е.А. КАПИЦА.², А.Н. КУЗНЕЦОВ³, С.П. КУЗНЕЦОВА³

¹ Институт Леса Карельского научного центра РАН

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

³ Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр

Крупные древесные остатки (КДО) сухостой, валеж, зависшие стволы, пни, крупные ветви и корни играют ключевую роль в функционировании лесных экосистем (Stokland et al., 2012). Закономерности структурного разнообразия и динамики КДО в коренных тропических лесах практически не изучены, что затрудняет оценку их роли в процессах почвообразования (Magnússon et al. 2016). Динамика пула КДО зависит от соотношения скорости отпада в результате отмирания деревьев или отдельных фракций их фитомассы и разложения. В свою очередь, процессы разложения КДО включают биогенный ксилолиз, приводящий к практически полной (при коррозионном типе) или частичной (при деструктивном типе) потере массы и эмиссии CO₂ в атмосферу, фрагментацию и поедание насекомыми и выщелачивание. На глобальном уровне, биогенный ксилолиз является основным процессом, приводящим к потере массы КДО (Russell et al., 2015). Однако в тропических лесах более важную роль в разложении КДО могут также играть термиты (Лопес де Гереню и др. 2015). Цель данного исследования состоит в характеристике КДО, как резервуара органического вещества. В задачи входит количественная оценка 1) вариабельности общих объемов, массы, проективного покрытия и размера КДО, 2) их распределений по классам разложения и

категориям (положению относительно земной поверхности), а также 3) соотношения путей потери массы КДО в экосистемах коренных муссонных тропических лесов Вьетнама.

Для решения поставленных задач в национальных парках БуЗяМап (BuGiaMap) и Бидуп-Нуйба (Bidoup NuiBa), в лесах, незатронутых коммерческими рубками выбраны ключевые участки, растительность и почвенный покров которых являются наиболее представительными для обследованных территорий. Климат низкогорных (высота над уровнем моря 387-517 м) высокоствольных диптерокарповых лесов национального парка БуЗяМап (N12° 11.788' 12.149'; E107° 12.248' 12.433') характеризуется среднегодовой температурой воздуха + 26.2°C и среднегодовым количеством осадков 2469 мм. В древостое выбранных участков преобладают *Dipterocarpus costatus*, *D. turbinatus*, *D. alatus*, *Hopea odorata*, *Lagerstroemia calyculata*, *Swintonia floribunda*. В высокоствольных полидоминантных горных лесах (высота над уровнем моря 1509-1549 м; N12° 10.885' 11.235'; E108° 40.469' 41.406') национального парка Бидуп-Нуйба среднегодовая температура составляет + 18.2°C, и среднегодовое количество осадков составляет 1865 мм. Древостои выбранных участков характеризуются участием голосеменных *Pinus dalatensis*, *Dacrycarpus imbricatus*, *Dacrydium elatum*, *Pinus krempfii*, *Fokienia hodginsii* и *Pinus kesiya*.

Учет всех КДО диаметром более 6 см проводили на 22-х трансектах длиной 50 м и шириной 4 м. Валеж, крупные ветви и зависшие стволы учитывали на центральной линии. Для каждого объекта регистрировали окружность или диаметр в месте пересечения линии и окружность или диаметр ствола на высоте 1.3 м от корневой шейки. Пни и сухостой учитывали на полосе шириной 4 м. Для пней измеряли окружности или диаметры основания и вершины и высоту. Для сухостоя измеряли диаметр или окружность на высоте 1.3 м и высоту. Для всех типов КДО отмечали степень освоения термитами в процентах по объему, класс разложения древесины, неосвоенной термитами, и тип ксилолиза (коррозионный или деструктивный) оставшейся древесины. Для оценки базисной плотности и массы КДО отбирали образцы древесины правильной геометрической формы с каждого объекта. В общей сложности было отобрано 140 и 238 образцов в лесах БуЗяМап и Бидуп-Нуйба, соответственно.

Общий объем КДО варьировал от 5.4 до 536.4 м³ га⁻¹, составляя в среднем 109.4 м³ га⁻¹. Средний диаметр КДО составил 34 см. В лесах БуЗяМап средний запас КДО (59.9 м³ га⁻¹) был более чем в два раза ниже среднего запаса в Бидуп-Нуйба (168.7 м³ га⁻¹). Для выяснения причин выявленных различий необходимы дальнейшие исследования.

Общий объем КДО в лесах БуЗяМап уменьшался в ряду категорий сухостой (63%) >валеж (11%) >ветви (15%) >зависшие стволы (8%) >пни (4%). В лесах Бидуп-Нуйба картина

несколько отличалась. Запас сухостоя, валежа, зависших стволов, ветвей и пней составил 38, 33, 17, 7 и 6%, соответственно. Относительно высокая доля веточного отпада является отличительной чертой КДО тропических лесов (Gora et al., 2019). По объему преобладали КДО 3-го класса разложения, составляя, в среднем, 27% от общего объема КДО.

Масса КДО варьировала от 2.3 до 146.9 т га⁻¹, составляя в среднем 36.6 т га⁻¹, линейно завися от их объема ($y = 0.29x + 5.43$ ($r^2 = 0.774$)). Вариация в вышеописанной зависимости определялась распределением КДО по классам разложения, и, следовательно, различной плотностью древесины, а также потреблением древесины термитами на территории БуЗяМап, достигающем, в отдельных случаях, 95% от объема. Плотность древесины снижалась по классам разложения. При учете потери объема древесины, разрушенной термитами, плотность снижалась экспоненциально. Интересно, что как сохранившая целостность, так и фрагментированная и частично разрушенная древесины на территории БуЗяМап разлагалась только по коррозионному пути. На территории Бидуп не были обнаружены случаи высокой активности термитов с привнесением почвы в КДО; биогенный ксилолиз протекал как по типу коррозии, так и по типу деструкции, с преобладанием коррозии.

С точки зрения процессов почвообразования интересна величина проективного покрытия КДО. Ее вариация составила 73 - 1178 м² га⁻¹, при среднем покрытии 374 м² га⁻¹. Т.е. в изучаемых лесных экосистемах проективное покрытие КДО может достигать 12% площади поверхности. Таким образом, можно предположить различия в свойствах почв под КДО благодаря процессам выщелачивания биогенных элементов, вероятно, наиболее активно протекающим во влажный сезон; активности термитов в перераспределении почвы и смешиванию с почвой «остатков» КДО продуктов биогенного ксилолиза.

Результаты данного исследования носят предварительный характер и подчеркивают необходимость изучения факторов, влияющих на динамику КДО в коренных тропических лесах, в свете глобальных проблем изменения климата и сокращения биоразнообразия, в частности, разнообразия ксилофильных сообществ.

ЛИТЕРАТУРА:

- Лопес де Геренно, В.О., Аничкин, А.Е., Авилов, В.К., Кузнецов, А.Н., Курганова, И.Н. Термиты как фактор пространственной неоднородности потоков СО₂ из почв муссонных тропических лесов южного Вьетнама. / Почвоведение, 2015, № 2, с. 228–238.
- Gora E.M., Kneale R.C., Larjavaara M., Muller-Landau H.C. Dead wood necromass in a moist tropical forest: stocks, fluxes, and spatio temporal variability. / *Ecosystems*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00341-5>
- Magnússon, R.Í., Tietema, A., Cornelissen, J.H.C., Hefting, M.M., Kalbitz, K. Tamm Review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils. / *Forest Ecology and Management*, 2016, Vol. 377, Pp. 1-15.
- Russell, M.B., Fraver, S., Aakala, T., Gove, J.H., Woodall, C.W., D'Amato, A.W., Ducey, M.J. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: a review. / *For. Ecol. Manage.* 2015, Vol. 350, Pp. 107–128.
- Stokland, J.N., Siitonen, J. and Jonsson, B.G. 2012. Biodiversity in dead wood. *Cambridge Univ. Press*. 509 p.

СЕКЦИЯ 4. Функции лесных почв



МИКРОБИОМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ*

Е.А. АБАКУМОВ¹, Е.А. ПЕРШИНА^{1,2}, Е.А. ИВАНОВА^{1,2}, Е.Е. АНДРОНОВ^{1,2},
Г.В. ГЛАДКОВ², А.О. ЗВЕРЕВ^{1,2}, А.К. КИМЕКЛИС^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, г. Санкт-Петербург

Изучение педогенеза является актуальной задачей как с точки зрения анализа эволюции почв, так и в плане разработки и оптимизации методов возобновления почвенных ресурсов (рекультивации). Одним из мощнейших средообразующих факторов в почвенных экосистемах является микробиом: микроорганизмам принадлежит ведущая роль в обеспечении циклов основных биогенных элементов, процессах деструкции/формирования органического вещества почвы. Применение метагеномного подхода, позволяющего оценить разнообразие том числе и некультивируемых форм микроорганизмов, к анализу почвенных хроносери, в которых динамику почвообразования можно наблюдать в рамках определенных временных промежутков, является перспективным с точки зрения выявления взаимосвязи структуры микробного комплекса с почвообразовательным процессом и анализа сопряженной эволюции почвы и ее микробиома.

Объектами исследования служили две хроносери подзолистых почв Ленинградской области: 1) почвогрунты и почвы Малуксинского песчаного карьера (1-2 года, свежий песчаный литострат без признаков зарастания и почвообразования М1 (С1-С2-С3), стадия самозарастания 15-20 лет с формирующимся сосняком и дерново-подбуром М2 (О-АУ-ВF-С), стадия самозарастания 30-35 лет с эмбриоподзолом М3 (О-(е)-ВF-С), стадия самозарастания около 70 лет со сформированным подзолом М4 (О1-О2-Е-ВНF-ВС-С) и 2) почвы, сформированные на поверхности трансгрессионных валов Южного Приладожья (подзолы на территории Нижнесвирского заповедника, возрастом 70 лет (Р4) – О-Ое-ВFg, 135 лет – О-Е-ВFg (Р3), 455 лет (Р2) и 1590 лет (Р1) – О-Е-ВFg1-ВFg2-G).

Пробы мелкозема почв анализировались классическими методами (агрохимическими, почвенно-физическими, почвенно-химическими). Выделение ДНК из почвы проводили с использованием набора реактивов «PowerSoil DNA Isolation kit» (MoBio, США). Для амплификации фрагмента гена 16S рРНК использовали универсальные праймеры к его переменному участку V4: F515 (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA) и R806

(GGACTACVSGGGTATCTAAT) (Bates et al., 2011). Секвенирование и первичную обработку данных осуществляли на приборе ILLUMINA MiSeq. Определение численности основных групп микроорганизмов проводили с использованием ПЦР с детекцией в реальном времени (Pershina et al., 2018). Биоинформатический анализ данных секвенирования производили с использованием доступных интернет-ресурсов и ПО (<http://www.qiime.org>).

При анализе микробиомов исследуемых почвенных хроносери́й была продемонстрирована корреляция состава почвенного микробиома с почвообразовательным процессом.

Показано постепенное увеличение численности бактерий, архей и грибов по мере эволюции почвенного профиля. Бактерии и грибы преобладали в верхних частях почвенного профиля, в то время как археи тяготели к минеральным почвенным горизонтам (в частности, к горизонту BC в почвах Малуксинского карьера и горизонту G в подзолах Нижнесвирского заповедника). Такое разделение почвенного сообщества особенно ярко проявляется на завершающих стадиях сукцессии, сопровождаемых изоляцией нижележащих горизонтов почвенного профиля и обеднением их доступными формами органического вещества.

В индексах альфаразнообразия снижается число фило́типов (OTE – операционных таксономических единиц) на поздних стадиях почвообразовательного процесса, что, как и в случае данных количественной ПЦР, вероятно, связано с более полной дифференциацией условий в отдельных горизонтах почвенного профиля, минерализацией органического вещества в этих почвах и преобладанием олиготрофных групп микроорганизмов. При анализе индексов разнообразия хроносери́и Нижнесвирского заповедника наблюдалось резкое увеличение разнообразия от органических горизонтов к минеральным по мере эволюции почв.

Сообщества ранних стадий сукцессии (M1-M3) имеют сравнительно богатый таксономический состав, включающий филы, состоящие из слабоохарактеризованных и некультивируемых бактерий: *Patescibacteria*, *Nitrospira*, *Gemmatimonadetes*, *Latescibacteria*, *Entotheonellaeota* (доля не превышает 5%). В литературе отмечается эволюционная «простота» филы *Patescibacteria* по сравнению с остальными суперфилами (Parks et al., 2017). Наличие этих бактерий может быть связано с наличием специфических экони́ш, в которых отсутствует прямая конкуренция с эволюционно более продвинутыми бактериальными фи́лами. Для сообществ поздних стадий сукцессии характерно увеличение доли типичных почвенных фил – *Verrucomicrobia*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*. В ходе эволюции органического горизонта O происходит изменение таксономического состава ацидобактерий, актинобактерий, наблюдается смена сообществ микроорганизмов-копиотрофов на

сообщества олиготрофов, увеличивается доля почвенных бактерий, ассоциированных с корнями растений, а именно, бактерий из рода *Bradyrhizobium* и *Burkholderia*, а также бактерий, участвующих в разложении сложных растительных полимеров из сем. *Cytophagaceae*. Эволюция подзолистого горизонта имеет множество параллелей с эволюцией органогенного горизонта. Главным отличием в данном случае является более значительное по сравнению с горизонтом О увеличение численности и разнообразия ацидобактерий. Эволюция почвенного профиля в ходе экогенеза сопровождается дальнейшим обособлением микробиомов нижних минеральных горизонтов с увеличением в них доли олиготрофных групп с доминированием ацидобактерий.

При анализе структуры микробиомов в почвенной хроносери P1-4 отмечается четкая связь микробиомов с генетическими горизонтами: явно выделяются кластеры, соответствующие горизонтам О и Е, и кластеры минеральных горизонтов. В первой группе отмечено доминирование протеобактерий (главным образом сем. *Bradyrhizobiaceae*, а также сем. *Burkholderiaceae*, *Pseudonomadaceae* и *Sinobacteraceae*), актинобактерий и бактерий филы *Bacteroidetes*. В нижних горизонтах существенно увеличивается ацидобактерий, «минорных» фил (*Nitrospirae*, *Chloroflexi*, *AD3*), и меняется структура протеобактерий: среди бетарпотеобактерий отмечается присутствие бактерий пор. *Nitrosomonadales*, а среди протеобактерий – бактерий рода *Rhodoplanes*, зачастую проявляющего черты олиготрофного роста. Также здесь увеличивается обилие и разнообразие архей, диагностированное по увеличению доли метаногенных бактерий филы *Euryarchaeota* в глеевых горизонтах исследуемых почв.

Общие климатические условия и сходный состав материнских пород позволяют рассматривать данные хроноряды в качестве длительной экогенетической серии подзолов от начальной стадии почвообразовательного процесса – материнской породы (отвалы песка в районе Малуксинского карьера), через формирование эмбриопodzола (возрастом 20-30 лет), до климаксной почвы (1590 лет). Анализ различий в таксономической структуре микробиомов показывает, что как возраст почвы, так и физико-химические параметры почвенных горизонтов оказывают определенное влияние на состав почвенного микробиома. При этом с возрастом существенно увеличивается разница между микробиомами поверхностных и приповерхностных горизонтов с минеральными (иллювиальными).

**Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 17-16-01030*

ЛИТЕРАТУРА:

Bates S.T., Berg-lyons D., Caporaso J.G., Walters W.A., Knight R., Fierer, N. Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil // *The ISME Journal*. 2010. V. 5. Is. 5. P. 908–917.

Parks D.H., Rinke C., Chuvochina M., Chaumeil P.A., Woodcroft B.J., Evans P.N.1, Hugenholtz P., Tyson G.W. Recovery of nearly 8,000 metagenome-assembled genomes substantially expands the tree of life. *Nature Microbiology*. V.2. P. 1533–1542.

Pershina, E. V., Ivanova, E. A., Korvigo, I. O., Chirak, E. L., Sergaliev, N. H., Abakumov, E. V., ... Andronov, E. E. Investigation of the core microbiome in main soil types from the East European plain. *Science of the Total Environment*. 2018. V. 631–632. P. 1421–1430.

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВ

Б.Ф. АПАРИН^{1,2}, Е.Ю. СУХАЧЁВА^{1,2}, М.К. ЗАХАРОВА^{1,2}

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

² ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург

Введение. Лесорастительные свойства почв – свойства, обеспечивающие нормальный рост и функционирование лесного биогеоценоза, а лесорастительный потенциал (ЛРП) – это интегральный показатель, который характеризует естественную способность почв обеспечивать тот или иной уровень продуктивности древостоя.

Лесорастительный потенциал почв (ЛРП) характеризуется удельным (УЛРП) и ресурсным (РЛРП) потенциалами почв. Под УЛРП понимается потенциал конкретной почвы в баллах, рассчитанный на единицу площади, а под РЛРП – удельный потенциал конкретной почвы (на таксономическом уровне тип, подтип) в баллах, отнесённый ко всей занимаемой данной почвой площади.

Цель работы – оценка лесорастительного потенциала почв Ленинградской области и его изменений при антропогенной трансформации почвенного покрова.

Объекты и методы. Оценка потенциалов почв была проведена для двух лесообразующих пород: сосны и ели. При оценке были использованы цифровая почвенная карта Ленинградской области (М 1:200 000) и база данных к ней (Отчет ЦМП, 2018) и Лесной план области (Лесной план, 2018). Расчет потенциала произведен для 32 почвенных разностей.

Расчет УЛРП состоял из двух этапов. На первом этапе все естественные почвы были разделены на 5 групп по качеству местообитаний: очень хорошие (100 баллов), хорошие (75-99), удовлетворительные (50-74), плохие (25-49) и очень плохие (0-24) по критериям 1-го порядка – совокупности неблагоприятных свойств и режимов, понижающих продуктивность древостоев. В качестве критериев взяты показатели водного режима, проточности, трофности и плотности почв.

Второй этап заключался в распределении почв внутри каждой группы. Для этого введены поправки в базовый балл группы на неблагоприятные свойства почв (критерии 2-го порядка). На основании обобщения материалов по требованиям культур сосны и ели к почвенным условиям (Березин Л.В., 2009; Зайцев Б.Д., 1931; Зеликов В.Д., 1970; Зонн С. В., 1954, 1987; Карпачевский Л.О., 1981. 1987, 2009; Морозов Г. Ф., 2016; Ремезов Н.П., Погребняк П.С. 1965; Сукачѳв В.Н., 1930; Чертов О.Г., 1974, 1981; и другие) были выделены 10 показателей в наибольшей степени определяющие лесорастительные свойства почв. К ним относятся: мощность подстилки / гумусового горизонта / торфа, тип гумуса / степень минерализации торфа, содержание гумуса, ЕКО, элементы питания, кислотность, плотность минеральных горизонтов, уровень грунтовых вод, проточность / оглеение, глубина залегания глеевого горизонта.

Каждому показателю была дана качественная оценка. Придерживались 3-х градаций: оптимальная, критическая, негативная. Каждому показателю качественной оценки, присваивался понижающий балл. Негативная – соответствует 2,5 баллам, критическая – 1,25 баллам. При оптимальной оценке параметра понижающий балл не вводили. Величину УЛРП конкретной почвы получали по разности между баллом группы и суммой всех баллов по неблагоприятным свойствам почв.

Для оценки РЛРП по цифровой почвенной карте Ленинградской области (Отчѳт ЦМП, 2018) были подсчитаны суммы всех площадей, занимаемых каждой почвенной разностью (на уровне тип, подтип). РЛРП рассчитывали по УЛРП и доли площади занимаемой конкретной почвой относительно всей площади Ленинградской области. Из расчета были исключены все непочвенные образования, территории с разрушенным почвенным покровом и находящиеся под автомагистралями.

Оценка изменения лесорастительного потенциала естественных почв за период от начала интенсивного освоения территории до настоящего времени проведена на основании сравнения РЛРП почв. Площади рассчитаны по цифровой почвенной карте и карте реконструкции почвенного покрова Ленинградской области (М 1:200 000) (Отчет ЦМП, 2018).

Результаты и обсуждения. Расчеты показали, что высшим баллом УЛРП (99-100) обладают почвы: бурозем, карболитозем темногумусовый и дерново-подзолистая остаточно-карбонатная.

В группу хороших условий попали почвы, имеющие небольшие отклонения свойств от оптимальных значений: дерново-подзолистая и дерново-подбур (93 балла), дерново-подзол на двучленной породе (91 балл).

Лесорастительным потенциалом удовлетворительного качества характеризуются почвы: дерново-элювиально-метаморфическая (68 баллов), дерново-подзолистая глееватая (66 баллов), дерново-подбур глееватый (65-66 баллов), дерново-подзол (63 балла), дерново-подзолисто-глеевая (60 баллов), подзолистая типичная (60 баллов) и глееватая (56-58 баллов), подбуры (56-61 балл).

Самые низкие баллы УЛПП (пятая группа) имеют следующие почвы: аллювиальная серогумусовая (16 баллов), аллювиальная серогумусовая глеевая (13-14 баллов), петрозем (13 баллов), торфяная олиготрофная (5 баллов).

Ресурсный потенциал почв значительно отличается от удельного. Его балльная оценка, помимо величины УЛРП, зависит от площади занимаемой почвой.

Наиболее высоким баллом ресурсного потенциала обладают следующие почвы: подбур (55 баллов), дерново-подбур глееватый (53 балла), торфяно-глеезем типичный (29 баллов), подзол иллювиально-железистый и подзолистая типичная (26 баллов).

Наименьший балл ресурсного потенциала почв имеют: торфяно-подзолисто-глеевая (менее 1 балла), аллювиальная серогумусовая и торфяно-подзолисто-глеевая (1 балл).

По результатам оценки изменений лесорастительного потенциала естественных почв за период от начала освоения территории до современного периода не изменили своего ресурсного потенциала почвы: дерново-подбур, дерново-подзол глееватый, дерново-подзол глеевый, подбур грубогумусированный, перегнойно-глеевая типичная, аллювиальная серогумусовая глеевая типичная. В наибольшей степени уменьшился балл РЛРП следующих почв: подзол (-35 баллов), дерново-подзолистая (-19 баллов), бурозем темный, дерново-подзолистая глееватая и дерново-подбур глееватый (-13 баллов).

Изменение удельного потенциала почв обусловлено преимущественно осушением переувлажненных территорий, изменение ресурсного – вовлечением почв в сельскохозяйственное использование, строительством городов, дорог, путепроводов и другими видами хозяйственной деятельности человека.

ЛИТЕРАТУРА:

- Березин Л.В., Карпачевский Л.О. Лесное почвоведение: учеб. пособие Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009.
Зайцев Б.Д. Почвенные условия местопроизрастания сосны и ели – М.Л: Сельколхозгиз, 1931.
Зеликов В.Д. «Почвы и бонитет насаждений» Лесная промышленность, 1970 .
Зонн С. В. Влияние леса на почвы – М, Изд-во академии наук СССР, 1954.
Зонн С. В., Карпачевский Л. О. Проблемы лесного почвоведения и современные методы лесорастительной оценки почв // Почвоведение, № 9, сентябрь, 1987.
Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М: «Лесн. Пром-сть», 1981.
Лесной план Ленинградской области. Утвержден постановлением Губернатора Ленинградской области от 25.12.2018 № 75-пг "Об утверждении Лесного плана Ленинградской области" (источник: официальный сайт администрации ЛО).
Морозов Г. Ф. Учение о лесе. – Directmedia, 2016.
Отчет НИР ЦМП им. В.В.Докучаева 2018 г. Реферат «Почвы Ленинградской области, Ресурсный потенциал почв, Цифровая почвенная карта, База данных, Оценка ресурсного потенциала почв», ГЗ № 0671-2014-0002.

- Ремезов Н.П., Погребняк П.С. Лесное почвоведение – М: «Лесная промышленность», 1965.
Сукачев В.Н. Руководство к исследованию типов леса – Л: «Сельхозгиз», 1930.
Чертов О.Г. Изучение типов местообитания леса на Северо-Западе СССР Методич. указания. Л.: Изд-во Лен НИИЛХ, 1974.
Чертов О. Г. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний) — Л: Наука, 1981.

РОЛЬ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ

Л.Г.БАКИНА, М.В.ЧУГУНОВА, Н.В.МАЯЧКИНА, А.О. ГЕРАСИМОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18

Известно, что безопасное природопользование является одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед обществом на современном этапе его развития. В связи с этим постоянно совершенствуется система экологического контроля и нормативная база в области охраны окружающей среды, в частности, величины предельно допустимых уровней содержания различных загрязняющих веществ в природных средах – почвах, воде, воздухе. При этом существующие утвержденные нормативы зачастую подвергаются справедливой критике (Донченко и др., 2008), и, вероятно, в связи с новыми данными, накопленными экологами за последние десятилетия, должны быть в какой-то степени скорректированы.

К таким нормативам, нуждающимся в корректировке, относятся, по нашему мнению, величины допустимых концентраций железа для сточных вод промышленных предприятий, расположенных на территории Северо-Западного региона. Известно, что содержание железа в сточных водах с территорий предприятий очень часто характеризуется повышенными величинами, на один-два порядка превышающими значения ПДК для вод хозяйственно-бытового назначения 0,3 мг/л. Однако эта величина ПДК разрабатывалась без учета региональных особенностей химического состава поверхностных природных вод, которые, в первую очередь, напрямую зависят от химического состава почвенного покрова территории и от господствующих в этой биоклиматической зоне почвообразовательных процессов (Водяницкий, 2003; Гагарина, 2004; Регуляторная роль..., 2002; Мурашкина и др., 2004).

В связи с этим на территории одного из промышленных предприятий (нефтебазы в порту Усть-Луга) были проведены исследования почв и поверхностных (природных и сточных) вод с целью выявления причин повышенных концентраций железа и

парагенетически связанного с ним марганца, которые регулярно фиксируются в поверхностных водах на территории предприятия при мониторинговых наблюдениях.

Полевое обследование почв и почвенного покрова как территории предприятия, так и естественных фоновых участков коренного леса, расположенного выше по рельефу, общие химические анализы отобранных почвенных образцов выявили следующее.

Почвы фоновых участков исследуемой территории представлены дерново-подзолистыми оглееными тяжелосуглинистыми разностями, развитыми на глинистых моренных отложениях, а также альфегумусовыми подзолами на моренных и морских (в зависимости от высоты участка) песках.

Почвообразующие породы (моренные глины и суглинки, и даже моренные пески) являются слабыветрелыми, богатыми по минералогическому составу, что в принципе характерно для почв Северо-Западного региона и Ленинградской области, и характеризуются достаточно высоким содержанием железа – 3% и более. Высокое содержание железа проявляется в почвенных профилях морфологически, определяя окраску почв (сизую – при переувлажнении, ржаво-охристую – в окислительных условиях), обилие железомарганцевых конкреций и примазок во всех почвах и образование ожелезненных (иллювиально-железистых) горизонтов. Максимальным валовым содержанием железа в фоновых почвах характеризуются иллювиальные горизонты почв. Содержание Fe в них колеблется от 0,56 до 3,86%. Эти же горизонты характеризуются и максимальным содержанием водорастворимых форм Fe (7,4-36,2 мг/л) и Mn (2,4 мг/л), что можно расценивать как доказательство деградации (химического выветривания) иллювиально-железистых горизонтов в современных условиях. Валовое содержание Mn составляет 51-627 мг/кг, что ниже средних содержаний в литосфере и почве (Справочник по геохимии, 1990).

Помимо исходно высокого содержания железа в минеральной части почв, значительному количеству железа в поверхностных водах способствует специфический состав органического вещества (гумуса) почв, который приводит к активному разложению минералов и развитию подзолообразования как ведущего почвообразовательного процесса. Для состава гумуса исследуемых почв характерно преобладание агрессивных, хорошо растворимых, способных к активному комплексообразованию фульвокислот, при этом общее содержание группы фульвокислот в гумусовых горизонтах почв очень высокое и составляет в среднем 1-1,5%. Это определяет протекание в почвах процессов кислотного гидролиза и оподзоливания, результатом чего является разложение минералов и последующая миграция с промывными водами образовавшихся подвижных комплексных соединений по почвенному профилю и за его пределы. Кроме того, во всех почвах суглинисто-глинистого состава

обнаружены признаки либо временного, либо постоянного переувлажнения и связанных с этим процессом оглеения, что приводит к активному химическому растворению частиц гидроксидов железа (Плеханова, 2007).

Техногенные почвогрунты, сформированные на территории предприятия, неоднородны по гранулометрическому составу и химическим характеристикам. Будучи расположенными по рельефу ниже фоновых почв, они испытывают более сильное постоянное или сезонное переувлажнение, что предопределяет значительное развитие в них процессов оглеения и увеличивает подвижность Fe и Mn в профиле. Поэтому техногенные почвогрунты, особенно более тяжелые по гранулометрическому составу, характеризуются очень высоким содержанием водорастворимых форм Fe и Mn (до 101 и 5,5 мг/л соответственно).

Пески, используемые при строительстве и ремонте территории порта Усть-Луга, являются хорошо отмытыми, практически не содержат илистой фракции и органического вещества. Содержание Fe в них достаточно высокое и колеблется от 0,55 до 1,33%, Mn – от 81 до 750 мг/кг, что соответствует содержанию этих элементов в иллювиальных горизонтах фоновых песчаных почв. Содержание водорастворимых форм этих элементов в песках колеблется от 0,13 до 4,34 мг/л для Fe и от 0,18 до 2 мг/л для Mn, что также не отличается от содержания их в фоновых почвах.

Таким образом, повышенное содержание железа (и парагенетически связанного с ним марганца) в поверхностных природных и сточных водах территории предприятия обусловлено химическим составом почв, слагающих эту территорию, и особенностями почвообразовательных и гидрохимических процессов, происходящих при фильтрации атмосферных осадков через почвенную толщу, то есть естественными, природными причинами. Факт повышенного содержания железа в поверхностных водах можно расценивать как гидрохимическую особенность исследуемой территории и – более того – как особенность региона в целом (за исключением районов выхода карбонатных пород и формирования дерново-карбонатных почв).

Проведенная исследовательская работа обосновывает необходимость учета региональных особенностей природной среды при разработке экологических нормативов для оценки влияния предприятия на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА:

- Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа. М.: Изд-во Почв.ин-та им.В.В.Докучаева. 2003. 238 с.
- Гагарина Э.И. Литологический фактор почвообразования (на примере Северо-Запада Русской равнины). СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2004. –260 с.
- Донченко В.К., Питулько В.М., Иванова В.В. Эколого-химические особенности прибрежных акваторий. – СПб., НИЦЭБ РАН, 2008. – 552 с.

Мурашкина М.А., Копчик Г.Н., Саузард Р.Дж., Чижикова Н.П. Соединения железа, алюминия, кремния и марганца в почвах лесных экосистем таежной зоны // Почвоведение. 2004. № 1. С.40-49.
Регуляторная роль почвы в функционировании таежных экосистем. Под ред. Г.В.Добровольского. М.: Наука. 2002. 364 с.
Справочник по геохимии. М. Недра. 1990. 480 с.
Плеханова И.О. Трансформация соединений Fe, Mn, Co и Ni в дерново-подзолистых почвах при различных уровнях влажности// Почвоведение. 2007. № 1. С. 82-90.

ЗОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ БЮДЖЕТА УГЛЕРОДА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-ФИТОЦЕНОЗ В КОРЕННЫХ ЕЛЬНИКАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

К.С. БОБКОВА, М.А. КУЗНЕЦОВ

Институт биологии КомиНЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

На территории европейского Северо-Востока России еловые леса являются доминирующими. В этом регионе сохранились значительные площади коренных лесов, которые составляют основу лесозащитного фонда. Одновременно они выполняют большую средообразующую функцию, регулируют содержание атмосферного углерода. Цель настоящего исследования заключается в определении основных составляющих цикла углерода в спелых и перестойных еловых экосистемах с учетом зональности. Объектами исследования были ельники черничные свежие и влажные (Зеленоборский лесозоологический стационар, северная тайга; Чернамский лесозоологический стационар, средняя тайга), разнотравно-черничный и чернично-сфагновый (Ляльский лесозоологический стационар, средняя тайга).

Для оценки бюджета углерода в системе почва-фитоценоз фитомассу и прирост надземной части древесных растений определяли методом модельных деревьев (Уткин, 1975). Массу и прирост подземных органов растений определяли по методу крупных и мелких монолитов (Орлов, 1967; Методы..., 2002). Количество опада растений древесного яруса определяли с помощью опадоулавливателей размером 1 x 1 м в 10-тикратной или 0.5 x 0.5 м в 20-тикратной повторности (Родин и др. 1968). Массу растений травяно-кустарничкового яруса и мхов определяли на 10 площадках размером 0.5 x 0.5 м. Опад растений этого яруса оценен по их приросту, срезая побеги на тех же площадках. Запасы органического углерода в почвах хвойных фитоценозов определяли по содержанию гумуса в различных горизонтах с учетом плотности почвы. Эмиссию CO₂ с поверхности почвы измеряли при помощи ИКГ LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США).

Общий пул углерода в исследуемых старовозрастных ельниках в зависимости от условий произрастания составляет от 151 до 185 тга⁻¹, из них в живых органах деревьев – 40-

49%, в растениях напочвенного покрова – 1.1-3.7, в фитодетрите (сухостой и валеж) – 6-8%. В почве, включая подстилку и минеральный слой, запасается 40-48% от общего пула углерода, примерно третья часть которого концентрируется в лесной подстилке мощностью от 7 см в ельнике разнотравно-черничном до 13 см в ельнике чернично-сфагновом. В условиях северной тайги нетто-продукция углерода фитомассы ельника черничного свежего составила 3.99, влажного – 3.46 тга⁻¹год⁻¹. Довольно близкие данные были получены и для спелых ельников средней тайги. Ежегодное депонирование углерода в них составило от 3.08 в ельнике чернично-сфагновом до 3.67 тга⁻¹ в ельнике черничном свежем, что согласуется с данными (3.2-3.7 тга⁻¹), полученными ранее для ельников этого региона (Мартынюк и др., 1998; Тужилкина, Бобкова, 2001). В продукции углерода в исследуемых фитоценозах исключительно важная роль принадлежит древостою (90-99%). В ельниках подзоны северной тайги с опадом и отпадом в почву поступает 2.47-2.98 тСга⁻¹год⁻¹. Количество углерода опада, поступающего на поверхность почвы в среднетаежных ельниках, составляет 1.64-2.48 тга⁻¹год⁻¹. Сравнение ежегодного поступления углерода с опадом в северной и средней тайге и выходом в атмосферу за счет деструкции растительного материала показывает, что в течение года органическое вещество разлагается больше, чем поступает в мортмассу. Это обусловлено тем, что на современном этапе развития в ельниках протекают процессы разложения продуктов текущей жизнедеятельности и остатков растений, поступивших ранее. В общем потоке углерода в атмосферу доля минерализационных потерь за счет разложения растительных остатков в ельниках составляет 24-29% в северной и 30-33% в средней тайге.

Исследованиями сезонной динамики эмиссии CO₂ с поверхности почв среднетаежных ельников выявлено влияние на процесс выделения диоксида углерода погодных условий сезона и его положительная корреляция с температурой почвы ($r=0.6-0.8$). Средняя удельная скорость продуцирования CO₂ с типичной подзолистой почвы ельника разнотравно-черничного варьирует 2.26-2.69 тСга⁻¹сезон⁻¹ (Машика, 2006). С поверхности полугидроморфной почвы ельника чернично-сфагнового эмиссия составляет 2.44-2.50 тСга⁻¹сезон⁻¹.

В целом, анализ входного (расход C_{атм} на формирование продукции) и выходного (возврата C-CO₂ в атмосферу) потоков углерода показывает, что коренные ельники служат местом стока для 0.2-0.3 в северной и 0.3-0.4 тСга⁻¹год⁻¹ в средней тайге, хотя в отдельные периоды развития изучаемые экосистемы ельников могут служить источником углерода. Несмотря на то, что в углеродном цикле еловых экосистем северной тайги значительную роль выполняют растения напочвенного покрова, в чистой продукции исключительное значение принадлежит древостоям.

**Работа выполнена в рамках темы НИР “Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России” (НИОКТР АААА-А17-117122090014-8).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Мартынюк З.П., Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Оценка баланса углерода лесного фитоценоза // Физиология растений. 1998. Т. 45. С. 914-918.
- Машика А.В. Эмиссия диоксида углерода с поверхности подзолистой почвы // Почвоведение. 2006. №12. С. 1457-1464.
- Методы изучения лесных сообществ. СПб: НииХимии СПбГУ. 2002. 240 с.
- Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. №1. С.64-69.
- Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
- Тужилкина В.В., Бобкова К.С. Хлорофилльный индекс и ежегодный сток углерода в еловом фитоценозе // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. С.203-208.
- Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) / Лесоведение и лесоводство. // Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ АН СССР, 1975. Т. 1. С. 9-189.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭМИССИИ CO₂ ПОЧВАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. БОБРИК¹, О.Ю. ГОНЧАРОВА¹, Г.В. МАТЫШАК¹, М.В. ТИМОФЕЕВА¹,
Н.М. ПЕТРЖИК¹, Д.Г. ПЕТРОВ²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

² Институт географии РАН, г. Москва

Необходимость исследования продукции диоксида углерода в связи с определяющими ее факторами стоит перед многими отечественными и зарубежными учеными. Основной тенденцией мировых исследований данной проблемы является моделирование сценариев глобального изменения климата с оценкой чувствительности этих моделей к разным параметрам, включающим как свойства почвы, так и гидротермические, биологические и другие факторы.

Целью работы является оценка закономерностей эмиссии CO₂ и содержания органического углерода почв на уровне лесных экосистем северной и южной тайги Западной Сибири.

Район исследования расположен на севере Западной Сибири (Надымский район, Тюменская область, ЯНАО; 65°20' С, 72°55' В) на северной границе подзоны северной тайги, в краевой части III-ей озерно-аллювиальной террасы р. Надым, на междуречье Хейгияха — Левая Хетта. В целом для района исследования характерны суровые климатические условия: продолжительный зимний период, низкие среднегодовые температуры воздуха (-5 °С),

температура наиболее холодного месяца варьирует от -10 до -25°C, сумма активных температур более 10°C составляет 400-1250°C, количество осадков варьирует от 450 до 650 мм в год. Территория относится к зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. В автоморфных лесных экосистемах, расположенных на отложениях легкого гранулометрического состава, многолетнемерзлые породы отсутствуют. При этом значительное влияние на морфологию и свойства почв этих экосистем оказывают проявления палеокриогенного этапа развития территории. Объектами исследования являлись автоморфные лесные экосистемы, представленные 2 типами кочковато-западных сосняков лишайниковых: 1) сосняки зеленомошные, характеризующиеся преобладанием в напочвенном покрове мхов *Sphagnum sp.*, *Polytrichum strictum* и распространением подбуров (Entic Podzols), 2) сосняки беломошные, характеризующиеся преобладанием в напочвенном покрове лишайников *Cladonia rangiferina*, *Cladonia stellaris*, *Cetraria islandica* и распространением подзолов иллювиально-железистых (Folic Podzols).

Район исследования в подзоне южной тайги расположен на юге Западной Сибири (Тюменский район, Тюменская область; N57°19', E64°58'). Зональные тёмнохвойные кедрово-елово-пихтовые зелёномошно-кисличные с элементами широколиственного леса приурочены к небольшим по площади хорошо дренированным участкам высоких надпойменных террас и приречных частей водоразделов. Объектом исследования был выбран сосняк, расположенный на правобережной террасе р. Тура, в 40 км к юго-западу от города Тюмень, и характеризующийся преобладанием в напочвенном покрове мхов *Pleurozium schreberi*. Исследованная территория расположена в умеренно холодном климатическом районе: среднегодовые температуры воздуха достигают 1,7 °C, температура наиболее холодного месяца варьирует от -20 до -25°C, сумма активных температур более 10°C составляет 1600-2450°C, количество осадков варьирует от 350 до 500 мм в год. Объектами исследования являлись дерново-подзолы иллювиально-железистые (Umbric Podzols).

Полевые исследования проводились в пик вегетационного сезона в течение 2 полевых сезонов в августе 2017-2018 гг. Для оценки параметров экосистем и почв использовался метод однотипных мониторинговых площадок. На площадках размером 50 м x 50 м в северной тайге и 10 м x 10 м в южной тайге по регулярной сетке через каждые 5 м и 1 м соответственно заложены пикеты (всего 121 точка опробования). Данный метод, по нашему мнению, является оптимальным для оценки пространственной вариабельности содержания почвенного углерода и эмиссии углерода из почвы. В результате были получены описания почв и растительности изучаемых экосистем, определены температура и влажность почвы на глубине 10 см, отобраны образцы почв для лабораторного определения содержания

лабильного углерода и углерода микробной биомассы почв. Определение эмиссии диоксида углерода проводилось методом закрытых статических камер в дневные часы с поверхности почвы с удаленным растительным покровом. Измерение концентрации CO_2 осуществлялось на портативном газоанализаторе RMT DX6210.

В ходе исследований установлено, что эмиссия диоксида углерода почвами исследованных экосистем северной тайги невысокая и составляла в среднем $251 \pm 12 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ в августе 2017 г. (коэф. вариации 54%, $n=121$). Низкие значения эмиссии CO_2 свидетельствует о низкой биологической активности изученных почв, несмотря на то, что исследования проводились в пик вегетационного сезона. При этом заметим, что почвы лесных экосистем северной тайги характеризуются большими значениями эмиссии по сравнению с почвами полугидроморфных экосистем плоскобугристых торфяников и гидроморфных экосистем болот, что связано с различиями в условиях увлажнения и их лучшей теплообеспеченностью (Бобрик и др., 2018).

Установлено, что почвы сосняков зеленомошных и сосняков беломошных статистически значимо отличаются по всем изученным показателям: мощности органогенного слоя (5.4 ± 0.3 см и 1.6 ± 0.2 см соответственно), температуре почвы на глубине 10 см ($7.6 \pm 0.1^\circ\text{C}$ и $11.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$ соответственно), влажности почвы на глубине 10 см ($14.1 \pm 0.6\%$ и $9.1 \pm 0.6\%$ соответственно), содержанию лабильного углерода почвы ($285 \pm 56 \text{ мгC} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы и $50 \pm 10 \text{ мгC} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы соответственно), содержанию углерода микробной биомассы ($224 \pm 38 \text{ мгC} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы и $127 \pm 16 \text{ мгC} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы соответственно).

Почвы сосняков зеленомошных статистически значимо отличаются от почв сосняков беломошных по величине эмиссии CO_2 ($324 \pm 20 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, $n=55$ и $190 \pm 10 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, $n=66$ соответственно). Причиной этого является как большая мощность органогенного слоя и лучшие гидротермические условия почв сосняков зеленомошных, так и особенности органического вещества. Органическое вещество почв сосняков зеленомошных характеризуется высоким содержанием лабильных, легкодоступных форм органического вещества и большим по сравнению с почвами сосняков беломошных содержанием углерода микробной биомассы, что обуславливает высокие скорости деструкции, выражающиеся в интенсивной эмиссии диоксида углерода.

Эмиссия CO_2 из почв сосняков зеленомошных имеет статистически значимую связь с влажностью почвы ($r=-0.38$, $p\text{-level}<0.05$) и температурой почвы ($r=0.28$, $p\text{-level}<0.05$). Для почв сосняков беломошных не установлено статистически значимой связи эмиссии CO_2 с исследованными параметрами.

Установлено, что эмиссия диоксида углерода почвами лесных экосистем южной тайги варьировала в широких пределах от 99 до 435 $\text{мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ и составляла в среднем $252 \pm 10 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ в августе 2018 г. (коэф. вариации 22%, $n=121$). Температура почвы на глубине 10 см в среднем составляла $7.3 \pm 0.1^\circ\text{C}$, влажность почвы на глубине 10 см $3.5 \pm 0.1\%$, содержание лабильного углерода почвы $40 \pm 10 \text{ мгС} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы, содержание углерода микробной биомассы $117 \pm 10 \text{ мгС} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы). Эмиссия CO_2 из почв имеет статистически значимую связь с температурой почвы ($r=0.28$, $p\text{-level} < 0.05$).

Почвы типичных лесных экосистем северной и южной тайги в пик вегетационного сезона характеризуются низкими значениями эмиссии диоксида углерода и статистически значимо не отличаются по этому показателю ($251 \pm 12 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ и $252 \pm 10 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ соответственно). Следовательно, различия в биологической активности почв сравниваемых регионов выражены чрезвычайно слабо.

** Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (проект № МК1181.2018.5).*

ЛИТЕРАТУРА:

Бобрик А.А., Рыжова И.М., Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Макаров М.И., Волкер Д.А. Эмиссия CO_2 и запасы органического углерода в почвах северотаежных экосистем Западной Сибири в различных геоэкологических условиях // Почвоведение. 2018. № 6. С. 674-682.

РОЛЬ ПОЧВ В ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД В ЛАНДШАФТАХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ

А.Г. БОЛДЕСКУЛ¹, М.Л. БУРДУКОВСКИЙ², Т.Н. ЛУЦЕНКО¹, Н.К. КОЖЕВНИКОВА², В.В. ШАМОВ¹, Т.С. ГУБАРЕВА^{3,1}

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток

²Федеральный научный центр биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

³Институт водных проблем РАН, Москва

Отличительной чертой почв юга Дальнего Востока является высокая мозаичность, вызванная вариабельностью факторов почвообразования. Горный рельеф, разнородные и разновозрастные материнские породы, контрастность климата и разнообразие биоценозов находят отражение в формировании почв. Исследования были проведены на территории Верхне-уссурийского стационара (ВУС) Федерального Центра биоразнообразия ДВО РАН, расположенного в бассейне р. Правая Соколовка, входящей в систему верховий р. Уссури. Цель работы – оценить роль почв в формировании химического состава природных вод (лизиметрических и поверхностных) в ландшафтах на примере двух контрастных по своим характеристикам малых водосборах в пределах исследуемой территории.

Климат района формируется под влиянием восточноазиатского муссона умеренных широт и в целом характеризуется как влажный умеренно-холодный (Жильцов, 2008). Геологическая история бассейна р. Пр. Соколовки достаточно сложная. Правый борт ее долины слагают более древние породы основного состава ранней-средней юры. Левый борт представлен более молодыми породами среднего и кислого состава позднего мела. По своим природным характеристикам территория типична для среднегорного пояса Центрального Сихотэ-Алиня и служит своеобразным эталоном южной тайги с господством широколиственно-кедровых и пихтово-еловых лесов. В исследуемых бассейнах развиты типичные буроземы разной степени оподзоленности в зависимости от позиции в ландшафте. Полевые работы выполнены в течение теплого сезона 2015 г. Основные наблюдения сосредоточены на водосборах ручьев Еловый (3.48 кв. км) и Медвежий (7.5 кв. км), являющихся левым и правым притоками р. Правая Соколовка. Бассейн руч. Еловый представлен двумя участками, условно названными ТЛ Верхний абс. выс. 720 м и ТЛ Метео. В бассейне руч. Медвежий, частично вырубленном 50 лет назад, были исследованы площадки ТЛ Кабаний, абс. выс. 565 м и ТЛ Трубецкой, абс. выс. 596 м. На исследуемых участках были заложены полнопрофильные почвенные разрезы. В основных почвенных горизонтах определены валовые содержания органического углерода ($C_{орг.}$) (TOC_{VCPN} , Shimadzu) и элементный состав почв методом рентгенфлуоресцентной спектроскопии (EDX 800HS-P Shimadzu), с родиевым катодом в вакуумной среде. Для изучения основных процессов, происходящих в почвах, были сделаны водные вытяжки при соотношении почва:вода 1:5. Для отбора почвенно-грунтовых вод использовались тензиолизиметры (ТЛ), позволяющие извлекать пробы воды из почв ненарушенного сложения. Также были проанализированы воды ручьев, дренирующих эти водосборы. Во всех водных пробах pH и главные компоненты (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Si и $C_{орг.}$) анализировались стандартными методами, описанными ранее (Болдескул и др., 2014).

Присутствие пород кислого состава в литогенном субстрате и преобладание хвойных пород обуславливают более высокую общую кислотность почв ($pH_{водн.}$) бассейна руч. Еловый. Их pH в среднем ниже на 0.4-0.9 ед. по сравнению с $pH_{водн.}$ почв бассейна руч. Медвежий. Почвенные разрезы, заложенные на самых высоких отметках руч. Елового (ТЛ Верхний и Метео) кислые по всему профилю. Почвы бассейна руч. Медвежьего при одинаковых условиях анализа содержат больше гигроскопической влаги от 6-7% в верхних органогенных горизонтах до 1.2-1.4% на глубине 90 см, в отличие от почв руч. Елового (5% и 0.3-0.4%, соответственно). Это говорит о том, что почвы руч. Медвежьего богаче илестой фракцией и органическим веществом.

Валовый состав, рассчитанный на прокаленное вещество, отражает различия двух бассейнов по почвообразующим породам. Содержание кремнезема в почвах руч. Еловый составляет от 65 до 80% с относительно равномерным распределением по профилю, в отличие от руч. Медвежьего, где содержание SiO_2 составляет от 45 до 70% с аккумуляцией в почвенном профиле относительно почвообразующей породы. Распределение окислов железа также ярко отличается как по содержанию так и по распределению по профилю: Тл Верхний и ТЛ Метео – аккумулятивное распределение от 3-4% в верхних горизонтах почв до 2% в почвообразующей породе, в ТЛ Кабаний и ТЛ Трубецкой – от 4-5 % в верхних горизонтах до 12% в почвообразующей породе.

Максимальной концентрацией водорастворимых веществ и их вариабельностью отличаются вытяжки подстилок. Профильное распределение рН и элементов макросостава вытяжек носит сходный характер, но динамика концентраций отражает различия условий почвообразования (подстилающие породы, абсолютная высота, экспозиция и крутизна склона, тип леса и его парцеллярная структура) между бассейнами и в пределах каждого бассейна-между почвенными профилями. Водные вытяжки характеризуют почвы с точки зрения потенциально доступных соединений, влияющих на формирование речных вод. Вытяжки почвенных разрезов, заложенных на самых высоких отметках руч. Елового (ТЛ Верхний и Метео) кислые по всему профилю. Для вытяжек почв руч. Медвежий по всему профилю характерны более высокие концентрации HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Si за счет выщелачивания материнских пород основного состава, менее устойчивых к физико-химическому выветриванию. Преобладающим компонентом вытяжек является $\text{C}_{\text{орг.}}$, концентрации которого в подстилках и гумусовых горизонтах выше в руч. Медвежий, чем в руч. Еловый. Это подтверждают данные анализа валового $\text{C}_{\text{орг.}}$, содержания которого в подстилках бас. руч. Елового составляют 30-34%, в гор. А1 ТЛ Метео 7%, ТЛ Верхнего 15%. В подстилках разрезов бассейна руч. Медвежьего 37-40%, в гор. А1 12-13%, соответственно. О том, что содержание гумуса в кедрово-широколиственных лесах Пр. Соколовки в целом выше, чем в пихтово-еловых уже упоминалось ранее (Сапожников и др., 1993). Почвенные вытяжки ТЛ Трубецкой, заложенного на левом, более затененном и холодном борту долины руч. Медвежий, содержат довольно высокие концентрации $\text{C}_{\text{орг.}}$ (1096-1329 мг/л), что может свидетельствовать о слабой минерализации и заторможенности процессов бикруговорота. Профиль на ТЛ Кабаний заложен на противоположном дольше освещенном и более теплом склоне восточной экспозиции. Это отражается в снижении содержания $\text{C}_{\text{орг.}}$ и нитратного азота по сравнению с почвами склона западной экспозиции.

В данном исследовании для анализа были доступны только воды минеральных горизонтов, полученные посредством тензиолизиметров. Воды ТЛ Верхний и Метео имели слабокислый рН (6.4-6.6), гидрокарбонатно-натрий-кальциевый (магий-кальциевый) состав воды, минерализацию 36-44 мг/л, содержание $C_{орг}$ 2-4 мг/л. Воды минеральных горизонтов ТЛ Кабаний и Трубецкой характеризовались нейтральными значениями рН (6.8-7.6), низким $C_{орг}$, средней минерализацией 45 и 160 мг/л, соответственно. Таким образом водная вытяжка переводит в раствор больше органических соединений, но относительно меньше минеральных по сравнению с водами тензиолизиметров. Поэтому водные вытяжки имеют более низкий рН и другое соотношение основных ионов.

Результатом влияния почв и почвообразующих пород выступают воды ручьев, имеющие различный состав. Воды ручья Еловый ультрапресные (22–30 мг/л), слабокислые (5.8–6.1), сульфатные натриево-кальциевые. Воды ручья Медвежий пресные (85–120 мг/л), слабощелочные (7.2–7.9), сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые. Воды бассейна руч. Елового в меженный период содержат 2–2.5 мг/л $C_{орг}$, в паводки концентрации возрастают до 9 мг/л, бассейна руч. Медвежий в межень – 2.8 мг/л, в паводки содержания $C_{орг}$ увеличиваются до 10.4 мг/л. В целом, концентрации довольно близкие, но учитывая, что в органогенных горизонтах почв бассейна руч. Медвежий содержатся более высокие количества органических веществ, чем в бассейне руч. Еловый, можно предположить, что в почвах первого происходит более эффективная аккумуляция $C_{орг}$.

Исследования показали, что почвы руч. Еловый, формирующиеся на породах кислого и среднего состава обладают более высокой кислотностью, а водные вытяжки и лизиметрические воды характеризуются более низкой минерализацией. Вытяжки почв и лизиметрические воды бассейна руч. Медвежий имеют более высокие концентрации HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Si за счет выщелачивания пород основного состава, менее устойчивых к выветриванию.

Сравнение водных вытяжек и вод тензиолизиметров минеральных горизонтов показало, что водная вытяжка переводит в раствор относительно большее количество органических и минеральных соединений, но их соотношение гораздо шире, чем в лизиметрических водах. Поэтому водные вытяжки имеют более низкий рН. Главным отличием этих двух типов растворов является резкое преобладание органических анионов в вытяжках по сравнению с лизиметрическими водами, где главным анионом выступает гидрокарбонат-ион.

Результатом влияния почв и почвообразующих пород выступают воды ручьев Еловый и Медвежий, имеющие различный состав.

** Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-05-00182а, 16-05-00541а), Программы ДВО РАН «Дальний Восток» (18-5-089)16-05-00182 А, 16-05-00541 А)*

ЛИТЕРАТУРА:

- Болдескул А.Г., Шамов В.В., Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 2. С. 90-101.
- Жильцов А.С. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2008. 331 с.
- Сапожников А.П., Селиванова Г.А., Ильина Т.М., Дюкарев В.Н., Бутовец Г.А., Гладкова Г.А., Гавренков Г.И., Жильцов А.С. Почвообразование и особенности биологического круговорота веществ в горных лесах Южного Сихотэ-Алиня (на примере Верхнеуссурийского стационара). Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1993. 267 с.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Т.Ю. ГАБЕРШТЕЙН

ФГБУ Институт экологии растений и животных УрО РАН

Почва, как один из ведущих компонентов биогеоценоза, выполняет огромное количество самых разнообразных функций. Негативное воздействие города отражается в изменении морфологических и физико-химических свойств. В настоящее время возросло количество работ посвященных необратимым изменениям, связанных с антропогенным фактором, почвенного покрова, от полного его уничтожения до создания новых искусственных почвоподобных тел. Однако, изучению естественных автоморфных почв, подвергающихся действию урбанизации, уделено не достаточное внимание. Этот вопрос приобретает еще большую актуальность в связи с поиском фонового значения (эталлона), для выявления негативного влияния.

Для изучения почвенного покрова в юго-западном и юго-восточном направлении от границы города Екатеринбурга на расстоянии 3-10км были обследованы 19 пробных площадей примерно 50×50м. Все участки находятся в однотипных условиях местопроизрастания, характеризующихся преобладающим типом леса возле г.Екатеринбурга – сосняк разнотравный. Состав древостоя на пробных площадках представлен на 90-95% сосной обыкновенной и на 5-10% лиственными деревьями (береза, осина). Средний возраст сосны обыкновенной 120-140 лет, средний диаметр варьирует в пределах от 40 до 48см, а средняя высота – от 26 до 30м (Шавнин и др., 2010; Веселкин и др., 2013). На каждой пробной площадке был заложен почвенный разрез и отобраны образцы по генетическим горизонтам, а также измерялась мощность подстилки в десятикратной повторности. В пробах были определены: общий углерод, методом сухого высокотемпературного сжигания в токе

кислорода на автоматическом анализаторе Multi N/C фирмы Analytic-Jena AG, Германия; кислотность (рНводн и гидролитическая); содержание обменных кальция и магния (по ГОСТу 26487-85), степень насыщенности основаниями, элементы минерального питания в верхних горизонтах (калий и фосфор в вытяжке Манчигина).

В почвенном покрове исследуемых участков встречаются сочетания дерново-подзолистых типичных с буроземами типичными и оподзоленными. По гранулометрическому составу преобладают среднесуглинистые почвы. Мощность подстилок в среднем равна 1.9 ± 0.6 см. Минимальное значение мощности подстилки $1.2 (\pm 0.5 \text{ и } \pm 0.3)$ см встречается на участках с повышенной рекреационной нагрузкой около озера Глухое и Чусовское соответственно. Максимальное значение мощности подстилки 3 ± 0.6 см на площадке по Чусовскому тракту. В целом подстилка имеет коричневатый цвет, хорошо и средне разложившаяся. Состоит из опада хвои и листвы с остатками трав. На четырех участках местами наблюдается оторфованность подстилок, также на трех более увлажненных площадках в подстилке встречаются мхи.

Серогумусовый горизонт имеет среднюю мощность 8.9 см, минимальное значение 3 см наблюдается в разрезе дерново-подзолистой почвы на пологом склоне, а максимальное 14.5 в буроземе оподзоленном и буроземе типичном в 10 км от границы города. Гумусовый горизонт имеет серый или буровато-серый цвет, преимущественно комковатой структуры (на площадках в юго-восточном направлении структура порошистая) и по гранулометрическому составу преобладает средний суглинок. В трех разрезах по Чусовскому тракту гумусовый горизонт имеет легкосуглинистую структуру, а в разрезе около озера Чусовское даже опесчанен.

Содержание органического углерода в профилях носит органо-аккумулятивный характер. В подстилке разброс значений небольшой от 25.3 г/100 г в буроземе оподзоленном до 35.1 г/100 г в буроземе типичном. Гумусовый горизонт характеризуется содержанием общего углерода от 1.9 г/100 г на площадке возле оз. Глухое, из-за легкого гранулометрического состава до 8.5 г/100 г в разрезе по Чусовскому тракту, что вызвано дополнительным привнесением органического материала из мощной подстилки. Большинство образцов можно отнести к виду средне гумусированных. Для иллювиальных горизонтов разброс значений небольшой от 0.2 г/100 г на легкосуглинистой почве до 1.3 г/100 г. Такое высокое значение в метаморфическом легкосуглинистом горизонте можно объяснить неоднородностью его сложения и наличием включений материала из гумусового горизонта по ходам и корням.

Многие почвенные функции связаны со значением водородного показателя. Исследованные образцы имеют слабокислую и нейтральную реакцию. Для подстилок разброс значений небольшой от 5.2 в буроземе оподзоленном до 5.5 в буроземе типичном. Показатель в гумусовых горизонтах мало варьируется от 5 до 5.8. В подзолистых горизонтах значения водородного показателя также меняются в незначительном диапазоне. Иллювиальные горизонты имеют значения $pH_{водн}$ от нейтральных до слабощелочных. Распределение значений гидролитической кислотности носит органо-аккумулятивный характер, только в трех разрезах в горизонте ВС она увеличивается, по видимому, из-за особенностей состава материнской горной породы.

Максимум значений суммы обменных оснований тоже приходится на органогенный горизонт. В почвенном поглощающем комплексе катионы кальция доминируют над магнием. Для подстилок значения обменного кальция изменяются в широких пределах от 12 мг-экв/100 г до 75 мг-экв/100 г. Гумусовый горизонт содержит от 3.8 мг-экв/100 г до 29 мг-экв/100 г обменного кальция. В иллювиальных горизонтах содержится 1.5 мг-экв/100 г – 11 мг-экв/100 г. В 5 разрезах значения обменного кальция в материнской породе больше по сравнению с иллювиальными горизонтами. Магний имеет очень широкий разброс значений в подстилках от 0 мг-экв/100 г до 33.8 мг-экв/100 г. В гумусовых горизонтах значения изменяются не так широко от 0 мг-экв/100 г до 5.3 мг-экв/100 г. По степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса обменными основаниями подстилки относятся к ненасыщенным и слабонасыщенным. Гумусовые горизонты в основном ненасыщенные, а иллювиальные слабонасыщенные.

Подвижный фосфор в подстилках изменяется в широких пределах от 16.98 мг/100 г до 40 мг/100 г. В гумусовом горизонте также наблюдается широкий разброс значений от 1 мг/100 г до 14 мг/100 г. Содержание подвижного калия в подстилках характеризуется как очень высокое, а в гумусовом горизонте как высокое.

Почвенный покров сосновых лесов возле города Екатеринбурга по литературным данным слабо изучен и требует дополнительного рассмотрения. Почвы исследуемых участков по степени гумусированности относятся к средне и сильно гумусированным, имеют слабокислую и нейтральную реакцию среды, распределение концентраций подвижного кальция и магния в основном носит органо-аккумулятивный характер, содержание подвижного фосфора и калия можно отнести к высокому и очень высокому. Все вышеописанные характеристики в полной мере позволяют почве выполнять свои экологические функции.

ЛИТЕРАТУРА:

- Веселкин Д.В., Кайгородова С.Ю. Связь между агрохимическими свойствами почв урбанизированных лесов и строением эктомикориз сосны обыкновенной//Агрохимия. 2013.№11. С.54-62.
- Шавнин С.А., Галако В.А., Меншиков С.Л., Власенко В.Э., Марущак В.Н. Лесоводственно-таксационная оценка экологического состояния лесов в условиях рекреации и техногенного загрязнения//Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. №3(27). С.37-41.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ЛЕГКОРАЗЛАГАЕМОГО СУБСТРАТА НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

М.С. ГРОМОВА¹, А.И. МАТВИЕНКО², О.В. МЕНЯЙЛО²

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск;

²Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

Изучение температурного отклика экосистем важно для прогнозирования минерализации запасов почвенного органического вещества в условиях глобального потепления (*Jenkinson et al., 1991*). Скорость процессов минерализации зависит не только от температуры, но и от качества субстрата и уровня влажности почв (*Каганов, Курганова., 2011*). В данном исследовании было изучено влияние диапазона температур, добавления глюкозы и варьирования влажности на Q_{10} минерализации С и установлена математическая зависимость между уровнем влажности почвы и температурной чувствительностью минерализации почвенного органического вещества.

В качестве образца была взята серая лесная почва с верхнего минерального горизонта из разнотравного березняка в районе Академгородка г. Красноярска. Образец инкубировали в течении 136 часов (около 6 суток) с регулярными циклами понижения-повышения в диапазоне температур 25-15-5°C. За один цикл инкубации образцов температура сначала понижалась с 25 до 5 градусов с шагом в 10 градусов (25-15-5°C), а затем повышалась с тем же шагом с 5 до 25 градусов (5-15-25°C), при каждой температуре образец находился 4 часа. Измерения скорости образования CO_2 проводили спустя 3,5 часа от начала изменения температуры для того, чтобы образцы смогли стабилизироваться до нужной температуры. Значения Q_{10} при этом рассчитывались как соотношение средних скоростей образования CO_2 при высокой температуре (перед и после понижения температуры) к скоростям, измеренным при низкой.

Нами было замечено, что Q_{10} в отсутствии добавок и низкой влажности постоянен во времени при понижении (25-15°C) и повышении (15-25°C) температуры, а при низких температурах (15-5-15°C) нет. Мы предполагаем, что при низких температурах быстрее достигается лимитация почвенного органического субстрата вследствие его низкой скорости диффузии к местам ферментативной активности. Так же при низком уровне влажности наблюдается как эффект диапазона температур при низких температурах Q_{10} больше, так и эффект вносимой глюкозы – добавление субстрата снижает Q_{10} . Все эти эффекты сводятся на нет при увеличении влажности почвы. Однако, при повышении температуры (15-25°C), увеличении уровня влажности и внесении глюкозы наблюдался рост значений скоростей потоков CO_2 и Q_{10} во времени. Это может быть связано с прохождением микроорганизмами стадий лаг-фазы, роста и отмирания в условиях, максимально подходящих для быстрого роста и развития. При созданных нами условиях лимитация скорости субстратом сводится на нет: субстрат находится в повышенном количестве и благодаря увеличенной влажности почвы находится в местах ферментативной активности, а температурный диапазон оптимален.

Мы обнаружили что увеличение влажности почвы снижает Q_{10} минерализации С, а скорость потока CO_2 при этом, наоборот, повышается.

Также мы хотели установить математическую зависимость между влажностью почвы и Q_{10} минерализации С. Для этого в образце постепенно была изменена влажность от начальной 9% до 95% ППВ. Как и предполагалось, зависимость скорости потока CO_2 от влажности описывается параболической функцией с максимумом в районе 40-45% ППВ. Зависимость же температурной чувствительности минерализации С от уровня влажности представляет собой отрицательную линейную функцию, с коэффициентом детерминации $R^2=0,89$. Увеличение влажности от начальных 9-10% ППВ до конечных 95% ППВ привело к снижению значений Q_{10} минерализации С почти на 40%, что еще раз подтверждает, влажность – один из ключевых факторов скорости процессов минерализации углерода.

** Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-04-01776 и 18-54-52005).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Каганов В.В., Курганова И.Н. Оценка скорости минерализации органического вещества основных типов почв европейской части России при различных температурных режимах // Научные ведомости. 2011. №15(110), в. 16. С. 145-153.
- Jenkinson D.S., Adams D.E., Wild A. Model estimates of CO_2 emissions from soil in response to global warming // Nature. 1991. V. 351. P. 304–306.

РЯДЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ МЕТАЛЛОВ В ЮЖНОТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТАХ

П.Р. ЕНЧИЛИК, И.Н. СЕМЕНКОВ, А.Д. ИОВЧЕВА, Е.Н. АСЕЕВА,
О.А. САМОНОВА, Е.В. ТЕРСКАЯ

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

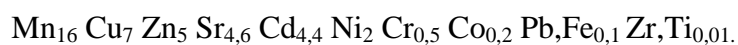
Биогеохимический круговорот тяжелых металлов является важной составляющей общего механизма функционирования наземных экосистем. В связи с усилением техногенной нагрузки актуальны исследования эталонных природных систем с естественным обменом микроэлементами между живыми и биокосными компонентами ландшафта. Для анализа биогеохимических связей широкого спектра элементов с разной степенью биофильности – Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn, Zr – в системе «растения – органогенные горизонты почв» Центрально-Лесного заповедника исследована catena протяженностью 187 м с перепадом высот 3 м, сложенная покровными суглинками. В автономном (А) ландшафте сформировались грубогумусированные палево–глубокоподзолистые почвы под липово-еловым лещиново-кисличным растительным сообществом с кленом остролистным *Ácer platanoídes* L. и вязом шершавым *Ulmus glábra* Huds. В трансэлювиальном (ТЭ) ландшафте выпуклого склона формируются маломощные дерново-палево–глубокоподзолистые почвы под елово-широколиственным лесом. В трансэлювиально-супераквальном ландшафте подножья склона на мелкоторфянисто-перегнойных глубокоподзолистых профильно-оглеенных почвах произрастает чернично-сфагновый ельник с подростом из липы сердцевидной и клена остролистного. В трансэлювиально-супераквальном ландшафте (ТЭС) на мелкоторфянистых глубокоподзолистых профильно-оглеенных почвах – кислично-сфагновый ельник с ивой козьей *Sálix cárpea* L (Енчилик, Асеева, Семенов, 2018).

В биогеохимический круговорот веществ элементы вовлекаются преимущественно из верхнего корнеобитаемого слоя почв в результате поглощения подвижных форм, представленных обменными (F1) и органоминеральными соединениями с фульвой гуминовыми кислотами (F2). F1 извлекали ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) с рН 4,8 (Ладонин, 2002), F2 определяли по разности между количеством элемента, переходящего в ААБ с комплексообразующим реагентом (ААБ + 1% ЭДТА, рН 4,5) и ААБ с рН 4,8 (Минкина, 2009). Валовое содержание элементов в растениях (n=70, опробовано 19 основных видов) и почвах (n=42) определяли в ВИМС им. Н.И. Федоровского методом ICP-MS и AES-ICP.

Коэффициент биологического поглощения A_x – отношение элемента в золе растений к их среднему валовому содержанию в верхних горизонтах почв (Перельман, 1975) – показывает биологически подвижные микроэлементы и биогеохимически наиболее активные растения. Ряд биологического поглощения элементов в автономном ландшафте для доминирующего представителя травяно-кустарничкового яруса – кислицы обыкновенной – выглядит следующим образом, где подстрочный индекс – значения A_x :



По вегетативным органам древесных растений химические элементы распределяются в зависимости от физиологии растения и функций элементов в органах. Ряд биологического поглощения элементов для листьев доминирующего в автономном ландшафте древесного вида – липы сердцевидной:



Для веток этого же растения ряд элементов отличается:



В биологический круговорот растения активнее всего вовлекают Mn, Zn и Cu. Представители древесного яруса имеют более высокие значения коэффициента A_x , чем травянистого. Листья растений древесного яруса интенсивнее поглощают Mn, Cu и Zn, которые относятся к элементам энергичного накопления (Перельман, Касимов, 1999). Марганец имеет важное физиологическое значение в растениях, быстро переносится, не связываясь органическими лигандами в нерастворимые комплексы в корнях или соке ксилемы. Медь играет важную роль в фотосинтезе. Цинк при оптимальном содержании в почвах равномерно распределяется в растениях и концентрируется в хлоропластах, выполняя важные метаболические функции. Ветки растений накапливают стронций, поскольку он выполняет функции, аналогичные Ca, участвуя в строительстве клеточной стенки (Kabata-Pendias, 2011). Cd и Ni легко извлекаются из почв растениями (Kabata-Pendias, 2011).

Соотношение содержания элементов в сухой массе растений к содержанию подвижных соединений в почвах (B_x коэффициент биогеохимической подвижности) более корректно отражает интенсивность поглощения металлов, так как растениям доступны только подвижные формы (Перельман, Касимов, 1999). B_x рассчитан относительно подвижных фракции элементов F1 и F2. Ряд биогеохимической подвижности для кислицы обыкновенной в автономном ландшафте, где подстрочный индекс – значения B_x :



Ряд биогеохимической подвижности для листьев липы сердцевидной в автономном ландшафте:

$\text{Cr}_7 \text{Ti}_4 \text{Cu}_{2,2} \text{Zr}_{1,7} \text{Sr}_{1,4} \text{Ni}_{0,9} > \text{Mn}_{0,4} \text{Zn}_{0,3} \text{Fe, Cd, Co}_{0,1} \text{Pb}_{0,01}$,

для веток: $\text{Cr}_4 \text{Ti}_3 \text{Sr}_{2,7} \text{Ni, Cu}_{1,2} \text{Zn}_{0,5} \text{Zr}_{0,4} \text{Mn, Cd}_{0,2} \text{Co, Pb, Fe}_{0,1}$.

Наиболее интенсивно растения извлекают подвижные соединения Cr, поскольку содержание F1+F2 в органогенных горизонтах почв автономного ландшафта минимально (0,2 мг/кг), и он, в основном, находится в неподвижной остаточной фракции, а в органогенных горизонтах образует стабильные соединения. Высокие значения коэффициента Vх отмечаются для малоподвижного Ti, его содержание подвижных форм в почвах составляет 0,7 мг/кг. Для очень слабо подвижного в Zr (содержание F1+F2 0,3 мг/кг) характерно активное извлечение из почв травянистым видом – кислицей обыкновенной. Для Cu, содержание которой в органогенных горизонтах составляет 3,7 мг/кг, коэффициент Vх максимален в листьях липы сердцевидной, а для Sr (19,8 мг/кг) – в кислице обыкновенной. Соединения Ni контролируются растительными факторами, влияя на его поглощение, при достаточном содержании подвижных форм почвах (2,6 мг/кг), значения Vх близки к 1. Однако, в травянистом виде – кислице обыкновенной, Vх ниже, что может объясняться барьерным механизмом поглощения данного элемента. Изучаемые почвы обеспечены подвижными соединениями Mn и Zn, и растения не испытывают недостаток этих эссенциальных элементов, значения Vх меньше 1. Наименьшая биогеохимическая подвижность свойственна Fe, Co и Pb с высоким содержанием подвижных форм в корнеобитаемом горизонте. Органические комплексы Fe в большинстве случаев относительно подвижны в почвах, однако, его поступление в органогенные горизонты преобладает над вымыванием вниз по профилю. Сорбцию кобальта гидроксидами железа могут стимулировать органические лиганды, уменьшающие его фитодоступность. Свинец сорбируется почвенным органическим веществом и образует комплексные соединения с металлами (Basta et al. 2005).

Дальнейшие работы будут направлены на выяснение причин высокой биогеохимической подвижности Ti, Zr и Cr, традиционно считающихся мало подвижными в почвах, и низкой биогеохимической подвижности Mn, Cd, Co и Pb, относимых к подвижным в почвах таежных ландшафтов.

**Исследование выполнено в рамках проекта № 04/2018/РГО-РФФИ под руководством Н.С. Касимова.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Енчилик П.Р., Асеева Е.Н., Семенов И.Н. Биологическое поглощение и биогеохимическая подвижность микроэлементов в лесных ландшафтах Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника // Проблемы региональной экологии. – 2018. № 4 – с. 93-98.
Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. 2002. № 6. С. 682-692.

- Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав и соединения тяжелых металлов в почвах. Ростов на/Д.: Эверест, 2009. 208 с.
- Перельман, А.И. Геохимия ландшафта/ А.И. Перельман. – М.: Высшая Школа, 1975. – 341 с.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. -768с.
- Basta, N.T., Ryan, J.A., Chaney, R.L. 2005. Trace element chemistry in residual-treated soils: Key concepts and metal bioavailability. *J. Environ. Qual.* 34:49–63.
- Kabata-Pendias, A., Sadurski, W. Trace elements and compounds in soils. In: *Elements and Their Compounds in the Environment*, 2nd ed., eds. E. Merian, M. Ihnat, and M. Stoepler, Weinheim, Germany: Wiley. 2004. 79–99.
- Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*, Fourth Edition. CRC Press. – 2011. 548 p.

ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРУ ИЗ ПОЧВ ТАЕЖНО ЛЕСНОЙ ЗОНЫ

А. В. ЗИНЧЕНКО

Федеральное государственное бюджетное учреждение Главная геофизическое
обсерватория им. А. И. Воейкова, г. Санкт-Петербург

Задача данной работы состоит в обоснование методики инвентаризации эмиссии парниковых газов из почв таежно-лесной зоны на основе моделей, предложенных ранее автором (Зинченко, 2015, Зинченко, 2017).

Таежно-лесная зона протянулась широким поясом через Евразию и Северную Америку. Она занимает около 15% суши северного полушария. В почвах этой зоны накоплены запасы органического углерода, значительная его часть в болотных и болотно-подзолистых почвах. Эмиссия парниковых газов (диоксида углерода – CO_2 и метана – CH_4) из почвы сказывается на содержании парниковых газов (ПГ) в атмосфере, и таким образом влияет на изменения климата. Особенно велика роль болот в атмосферном балансе метана.

Образование ПГ в почве происходит в процессе минерализации органических веществ. Органическое вещество (ОВ) почвы - это совокупность органических остатков растений, животных, микроорганизмов, продуктов их метаболизма и специфических новообразованных органических веществ почвы — гумуса. Источниками органического вещества почвы являются все компоненты биоценоза, которые попадают на поверхность почв или в толщу почвенного профиля и участвуют в процессах почвообразования. Любые органические остатки, попадающие в почву, разлагаются под воздействием микроорганизмов и почвенной фауны. Процесс разложения органических остатков складывается из двух процессов: минерализации и гумификации. Минерализация - это распад органических остатков до конечных продуктов – воды, диоксида углерода, метана и простых солей. Минерализация является причиной эмиссии ПГ с поверхности почвы. Гумификация - это процесс трансформации органических остатков в особый класс органических соединений,

мало доступных для потребления микроорганизмами. Гумификация это сложный, не до конца изученный биохимический процесс (Чертов, Комаров, 2013). В результате указанных процессов формируются следующие слои почвы: свежие органические остатки наверху, переходный частично гумифицированный слой, стабильный гумусно-аккумулятивный слой внизу (Чертов, Комаров, 2013).

В данной работе используется бинарная схема распределения углерода в почве между двумя основными пулами: лабильные ОВ (ЛОВ) и стабильные ОВ (СОВ). Соотношение ЛОВ и СОВ в слоях почвы различно. В тонком верхнем слое ОВ состоит, в основном, из ЛОВ. В переходном слое ОВ состоит из смеси ЛОВ и СОВ. На нижней границе переходного слоя и глубже почти все ОВ состоит из СОВ. Глубину нижней границы переходного слоя (z_m) можно найти из измерений вертикального профиля плотности углерода в составе ОВ: на глубине z_m прекращается регулярное уменьшение плотности углерода. Кроме основных пулов небольшой, но деятельный пул углерода находится в биомассе. ЛОВ переводятся ферментами, выделяемыми микроорганизмами, в растворимую фазу, некоторая часть которой может вымываться проточными водами, а большая часть служит субстратом для питания микроорганизмов. Образование CO_2 является результатом дыхания аэробных микроорганизмов, образование CH_4 результатом жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов. Последовательность преобразований органических веществ следующая: свежие ОВ преобразуются в ЛОВ, ОВ преобразуется в ПГ (в процессе минерализации) и параллельно в СОВ (в процессе гумификации). Введем обозначения: m – общая масса углерода в ОВ образца почвы, m_1 – масса углерода в ЛОВ, m_2 – масса углерода в СОВ, K_1 , K_2 и H – коэффициенты скоростей минерализации и гумификации, соответственно. В рамках бинарной схемы уравнения, описывающая преобразования углерода в ОВ почвы имеет следующий вид:

$$\frac{dm_1}{dt} = -(K_1 + H)m_1 \frac{dm_1}{dt} = -(K_1 + H)m_1$$

$$\frac{dm_2}{dt} = -K_2m_2 + Hm_1 \frac{dm_2}{dt} = -K_2m_2 + Hm_1$$

$$\frac{dm}{dt} = -K_1m_1 - K_2m_2 \frac{dm}{dt} = -K_1m_1 - K_2m_2$$

Значения коэффициентов минерализации и гумификации для образцов различных почв могут быть получены с помощью инкубационного эксперимента. Суть эксперимента состоит в последовательных измерениях концентраций метана и диоксида углерода в воздушном пространстве сосуда, в который помещен образец почвы. Подробно методика проведенного нами эксперимента описана ранее (Привалов и др., 2015). Представлены результаты инкубационных экспериментов с конкретными образцами почвы. Проведенные

исследования показали работоспособность и эффективность метода лабораторного исследования образцов почвы для калибровки расчетных моделей, описывающих процессы образования ПГ при разных условиях.

На основе проведенных исследований предложен следующий алгоритм инвентаризации эмиссии парниковых газов из почвы:

- 1) В экспедиционных условиях собираются образцы почвы в виде кернов.
- 2) В лабораторных условиях измеряются вертикальные профили плотности органического углерода в отобранных кернах.
- 3) В лабораторных условиях, путем инкубации, определяются коэффициенты скоростей минерализации и гумификации.
- 4) Расчетным путем определяются потоки метана и диоксида углерода из почвы.

** Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 14-05-00677а и РФФИ 18-05-00982.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Зинченко А. В. 2015. Параметризованная модель для расчета потоков диоксида углерода между природными экосистемами северо-запада Европы и атмосферой // *Агрофизика*. № 1, С. 44-52.
- Зинченко А. В. 2017. Модель гумификации и минерализации органических веществ в почве и ее использования для расчета составляющих углеродного баланса болотных экосистем // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*, Т. 8, № 2, С. 3-17.
- Привалов В. И., Зинченко А. В., Ивахов В. М. 2015. Лабораторные исследования образования метана в образцах тундровой почвы из зоны вечной мерзлоты // *Агрофизика*. №4, С. 21-25.
- Чертов О. Г., Комаров А. С. 2013. Теоретические подходы к моделированию динамики содержания органических веществ почв // *Почвоведение*. № 8. С. 937-946.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА УГЛЕРОДА ОТ РАЗЛОЖЕНИЯ ВАЛЕЖА В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ КЕДРОВНИКАХ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

А.В. ИВАНОВ, С.Ю. ЛОШАКОВ, Д.Е. КОСИНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Приморская государственная сельскохозяйственная академия, г. Уссурийск

Изучение углеродного цикла лесных экосистем продолжает оставаться актуальным направлением исследований как на локальном так и на глобальном уровнях по следующим причинам: до настоящего времени не сформирована единая картина бюджета углерода лесов Земли, включающего запасы и потоки С; глобальные изменения климата влекут за собой специфический отклик в процессах продукции и деструкции органического вещества, который остается в полной мере непредсказуемым; в будущем прогнозируется усиление

деградации лесов от лесных пожаров, ветровалов, инвазий насекомых, при этом антропогенный пресс в форме рубок лесных насаждений и развития инфраструктуры не будет уменьшаться. Все это требует системного понимания процессов трансформации вещества и энергии в лесных растительных сообществах для различных прогнозных сценариев и принятия наиболее верных управленческих решений в лесном секторе.

Крупные древесные остатки (КДО), представляющие собой мертвую древесину в виде сухостоя (стоящие стволы) и валежа (приземленные стволы), включают в себе 10-20% общей биомассы лесов суши (Zhao et al., 2018). В будущем, в виду уменьшения устойчивости лесов к неблагоприятным явлениям, эта доля, вероятно, будет увеличиваться. Отличительной особенностью КДО, как пула углерода, является их длительный период разложения, который иногда может достигать ста и более лет. В зависимости от происхождения лесного насаждения и степени нарушенности структуры древостоя доля мертвой древесины в общей древесной массе может составлять от 0 (молодое искусственное насаждение) до 100% (сплошной ветровал или сплошная рубка). Разложение КДО происходит двумя альтернативными путями – биологическое разложение (измельчение насекомыми, ксилолиз грибами и бактериями) и пожар, для которого характерен резкий переход закрепленного в древесине углерода в пул атмосферы. Таким образом, хранение углерода в мертвой древесине и его эмиссия с поверхности КДО – важнейшие составляющие бюджета углерода, которые нельзя игнорировать при оценках (Замолотчиков, 2009). Из множества работ, исследующих КДО, лишь немногие содержат оценку эмиссии углекислого газа с единицы площади лесного насаждения.

Амурский экорегион – южная часть Дальнего Востока России и северо-восточная часть Китая – территория с уникальным биологическим разнообразием, где под влиянием рельефа и муссонного климата сформировались сложные по структуре многовидовые растительные сообщества. Весьма велико влияние хвойно-широколиственных лесов Сихотэ-Алиня на локальный климат, почвообразование, гидрологический режим. Большая часть лесов юга Дальнего Востока России (Приморский и Хабаровский края) находится в аренде в целях заготовки древесины. В последнее время здесь учащаются тайфуны, приводящие иногда к масштабным ветровалам. Яркий пример – тайфун Liongock (2016), после которого был полностью уничтожен древостой на сотнях тысяч гектар. Таким образом, необходимы комплексные исследования экосистемных функций лесов амурского экорегиона для формирования новых научнообоснованных правил лесопользования, обеспечивающих реальное устойчивое лесопользование.

Цель исследования – определить общую эмиссию углерода с поверхности валежной древесины в кедровых лесах с разной степенью нарушения структуры древостоя.

Большая часть полевых работ была выполнена на территории лесного участка Приморской государственной сельскохозяйственной академии, расположенного в южной части Приморского края, а также на территории национального Парка «Бикин», расположенного в северной части Приморья, где сохранились старовозрастные кедровники, относительно длительное время не испытывавшие нарушений структуры древостоя.

Работа выполнялась в 3 этапа. 1. Определение удельной эмиссии углерода с поверхности валежа трех пород разных стадий разложения (Иванов и др., 2018). 2. Определение плотности валежа на разных стадиях разложения. 3. Оценка запасов валежа на пробных площадях в дифференциации по породам и стадиям разложения методом линейных трансект, предложенным В. Грабовским с соавторами (Грабовский, Замолотчиков, 2012).

Удельная эмиссия CO₂ с поверхности валежа при классификации фрагментов на три стадии по степени разложения значительно различается между этими группами ($p < 0.05$) и для каждой стадии хорошо описывается экспоненциальной функцией от температуры валежа и температуры воздуха ($R^2 = 0.6..0.9$ при $p < 0.01$ в зависимости от породы и стадии). Добавление в массив данных результатов зимних измерений существенно улучшает качество уравнения регрессии. В сезонной динамике эмиссии максимум приходится на наиболее теплый период – конец июля, начало августа: валеж 5 стадии дуба и ильма до 9 г/(м²×сут.); кедр – до 7 г/(м²×сут.). Минимальные значения зафиксированы в начале февраля 0.34 и 0.05 г/(м²×сут.) у дуба и кедр соответственно.

С использованием связи между температурой (ряд за год с регистратора) и эмиссией были получены удельные годовые потоки для каждой породе-стадии. За 2016 удельные годовые эмиссии оценены следующими значениями (г с/(м²): 408.4, 621.1, 832.1 (дуб 1,2,3 стадий), 428.9, 528.5, 798.3 (ильм 1,2,3 стадий), 226.8, 314.7, 521.9 (кедр 1,2,3 стадий).

Полученные данные о годичной эмиссии были применены к характеристикам валежа на пробных площадях, заложенных в относительно ненарушенных (нац. парк «Бикин») кедровых лесах, и нарушенных рубкой и деятельностью местного населения (участок ПГСХА). В лесах национального парка накапливается значительный объем валежа – более 100 м³/га, здесь зафиксирован максимальный поток углерода от валежа – 0.52 т С/(га×год). В насаждениях лесного участка ПГСХА, куда разрешен доступ граждан, запасы валежной древесины невелики, что объясняется с одной стороны изъятием части запаса древостоя при рубках, с другой – использованием валежа населением в качестве топлива. Здесь запасы

валежа колебались от 10 до 60 м³/га, а средний поток от разложения составил 0.22 т С/(га×год) (данные по 8 пробным площадям).

Вклад зимнего периода в общую эмиссию С с поверхности валежа в Приморском крае оказался пренебрежимо малым – 3 %. Большая часть годового потока углерода (55%) выделяется с поверхности валежа за летний период – наиболее благоприятное время для интенсивной деятельности грибов-ксилотрофов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Грабовский, В.И., Замолодчиков Д.Г. Модели оценки запасов валежа по данным учетов на трансектах. Лесоведение. 2012. № 2. С. 66-73.
- Замолодчиков Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // Лесоведение. 2009. № 4. С. 3–15.
- Иванов А.В., Браун М., Замолодчиков Д.Г., Лошаков С.Ю., Потоцкий О.В. Эмиссия углерода с поверхности валежа в кедровых лесах южного Приморья. Экология. 2018. № 4. С. 275-281.
- Zhao W., Logtestijn R., Werf G.R., Hal J.R., Cornelissen J. Disentangling effects of key coarse woody debris fuel properties on its combustion, consumption and carbon gas emissions during experimental laboratory fir. Forest Ecology and Management. 2018. Vol. 427. PP. 275–288.

ПОЧВЕННАЯ ЭМИССИЯ CO₂ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Д.Г. ИВАНОВ, Ю.А. КУРБАТОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук

Функционирование заболоченных лесов характеризуется одновременным проявлением процессов лесной болотообразования, сопровождаемых угнетением древесной растительности и формированием торфяной толщи (Глебов, 1988). Газообмен почвы и почвенного покрова в этих лесах в условиях чередования влажных и засушливых сезонов может отличаться большой изменчивостью, как пространственной, так и временной (Иванов и др, 2017). Настоящее исследование направлено на изучение пространственно-временной динамики почвенной эмиссии CO₂ с различных микроландшафтов лесоболотных экосистем южной тайги Европейской части России в различных гидротермических.

Все исследуемые участки были расположены в юго-западной части Валдайской возвышенности (56°26' – 39' с.ш.; 32°29' – 33°01' в.д.) в области умеренного континентального климата. Измерений почвенных потоков CO₂ проводилась в ельнике сфагново-черничном (*Piceetum sphagnoso-myrtillosum*) с торфами мощностью 35-50 см, относящемся к бореальным лесам подзоны южной тайги на 3-х площадках: типичной площадке в центральной части ельника (TS), площадке на вывале (DS) и экотоне на границе с сосняком (ES). А также в сосняке осоково-сфагновом (*Piceeto-Pinetum eriophorosomyrtylloso-sphagnosum* PB), расположенном в нижней части моренного холма с торфяными почвами мощностью 75-90 см.

Потоки CO₂ измерялись с периодичностью 4-10 дней с использованием метода закрытых камер в течение вегетационного периода с июня по август 2013-2016 гг. В 2013 г. измерялись участки TS, DS и ES, а в 2014-2016 гг. TS, DS, ES и PB. Около каждого основания снимались показания температуры почвы на глубине 10 см в 3-х повторностях и глубина грунтовых вод с помощью перфорированных трубок.

Летние периоды наблюдений 2013-2016 гг. на территории заповедника значительно различались по гидротермическим условиям. Погоду летнего сезона 2013 г. можно характеризовать как сухую и жаркую, в 2014 г. – жаркую с увлажнением, приближенным к многолетней норме, в 2015 г. отмечалась жаркая и сильно засушливая погода, а в 2016 г. жаркая с достаточным увлажнением.

Полученные данные показали, что изученные микроландшафты характеризовались высокой пространственной вариабельностью потоков CO_2 из почвы. Даже на достаточно ровном микроландшафте TS с однородным растительным покровом, значения почвенного дыхания в отдельных точках измерений могли различаться более чем в 2 раза, а средний коэффициент пространственной вариации почвенной эмиссии CO_2 за 4 летних периода составил 24%. На площадке средний DS коэффициент вариации составил 26%, на ES – 35%, на PB – 34%.

Наблюдения за интенсивностью выделения CO_2 с напочвенного покрова в летние периоды 2013-2016 гг. показали, что средние значения потоков CO_2 на площадках ES и PB статистически не различались (ES – $633-913 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$, PB – $659-820 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$). Выделение CO_2 на площадке TS было выше, чем на двух предыдущих и составило $979-1052 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$. Наиболее интенсивная эмиссия CO_2 была зафиксирована на площадке DS, при этом количество выделенного диоксида углерода заметно различалось между годами в сторону убывания – от $2248 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$ в 2013 г. до $1078 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$ в 2016 г.

Расчеты годовых потоков CO_2 из почв, выполненные на основании наших исследований, позволяют заключить, что с напочвенного покрова заболоченных лесов за год выделяется около $2000-3000 \text{ гCO}_2 \text{ м}^{-2}$ (что соответствует $20-30 \text{ т CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$). Максимальное количество диоксида углерода за год было выделено по площадке TS, минимальное – на PB. Разница в годовой эмиссии CO_2 между ельником сфагново-черничным и сосняком пушицево-сфагновым составляет 34%.

Проведенные нами измерения почвенной эмиссии выявили характерные различия в функционировании микроландшафтов двух типов лесных болот подзоны южной тайги Европейской части России. Выделение CO_2 с напочвенного покрова в исследуемых микроландшафтах значимо различалось между годами в течение летних периодов. Наиболее интенсивное почвенное дыхание зарегистрировано на старых вывалах с большим количеством древесного органического вещества и на типичном фоновом участке, значительно меньшие значения были получены на экотоне и в более гидроморфном сосняке пушицево-сфагновом.

**Работа выполнена при поддержке РФФИ и Русского географического общества (проект № 17-05-41127), а также частично при поддержке Президиума РАН по программе № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».*

ЛИТЕРАТУРА:

Глебов Ф.З. Взаимоотношения леса и болота в таежной зоне. Новосибирск: Наука. 1988. 184 с.

ВОЗДЕЙСТВИЕ СПЛОШНОЛЕСОСЕЧНОЙ РУБКИ НА ПОТОКИ УГЛЕРОДА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-ФИТОЦЕНОЗ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА НА ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВАХ

М.А. КУЗНЕЦОВ¹, Н.В. ЛИХАНОВА², К.С. БОБКОВА¹

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г Сыктывкар

²Сыктывкарский госуниверситет им. П.Сорокина, г Сыктывкар

Знание влияния промышленных рубок на углеродный цикл хвойных лесов, в частности ельников, важно для понимания механизмов воздействия антропогенных нагрузок на лесные сообщества и для определения углероддепонирующей функции лесов при интенсивной их эксплуатации. Цель исследования – оценка влияния сплошнолесосечной рубки на круговорот углерода в системе почва-фитоценоз в экосистеме ельника черничного на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах.

Исследования проводили в 2009-2015 гг. на территории Чернамского лесного стационара Института биологии КомиНЦ УрО РАН (62°01' с.ш., 52°28' в.д.). Работа выполнена в еловом сообществе до и после рубки древостоя. В зимний период 2005-2006 гг. в ельнике черничном влажном была проведена сплошнолесосечная рубка с хлыстовой трелевкой древесины. Древостой спелого ельника полнотой 0.8 имел состав 7Е2Б1С и запас древесины 266 м³га⁻¹. После рубки сохранились тонкомерные деревья (недоруб, семенники) в количестве 400 и сухостойные – 30 экз га⁻¹. Самосев и подрост (8.3 тыс. экз га⁻¹) имеют состав 6ЕЗБ1РбедСОс.

Для оценки биологического круговорота углерода фитомассу и прирост надземных органов древесных растений определяли методом модельных деревьев (Уткин, 1975). Количество опада растений древесного яруса определяли с помощью опадоулавливателей размером 0.5 x 0.5 м в 20-тикратной повторности (Родин и др., 1968). Массу, опад и прирост растений травяно-кустарничкового яруса и мхов определяли методом укоса на 10 площадках размером 0.5 x 0.5 м. Запасы углерода в подстилке определяли с помощью монолитов, в почве – по содержанию гумуса в различных горизонтах с учетом плотности почвы. Эмиссию CO₂ измеряли при помощи ИКГ LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США).

Сплошнолесосечные рубки в еловых сообществах оказывают сильное воздействие на обменные процессы в системе почва-фитоценоз. Выявлено, что в ельнике черничном в

процессе зимней рубки при хлыстовой трелевке древесины вывозится 44% углерода от его запасов, аккумулированных в фитомассе ценозов (Бобкова, Лиханова, 2012). Общие запасы углерода органического вещества на вырубке ельника черничного равны 114 тга^{-1} , что в 1.6 раза меньше, чем в спелом ельнике. Следует отметить, что если на вырубке большая часть углерода сосредоточена в почве, то в спелом ельнике в фитомассе ценоза. Масса растений травяно-кустарничкового и мохового покрова, значит и углерода, на 4-6 летней вырубке в два раза больше, чем в спелом ельнике. С крупными древесными остатками (КДО) дополнительно в почву поступает 21.96 тСга^{-1} . Следует отметить, что в настоящее время роль КДО, особенно вклад корней вырубленных деревьев, в углеродном цикле и в целом в почвообразовании как на вырубках, так и в производных послерубочных экосистемах практически не исследована. Продукция углерода фитомассы (1.8 тга^{-1}) на вырубке в 1.9 раза меньше, чем в спелом ельнике до рубки. Выявлено, что в депонировании углерода в фитомассе спелого ельника основную роль выполняют древесные растения (83%), а на вырубке – растения напочвенного покрова (79%).

Следует также отметить, что с порубочными остатками и корнями вырубленных древесных растений в почву экосистемы вырубке поступает углерода в 3 раза больше, чем с опадом. Постепенно освобождаемый в процессе разложения и минерализации порубочных остатков и корней вырубленных деревьев углерод органического вещества будет накапливаться в почве, выполняя значительную роль в почвообразовании. На вырубке ельника отмечено снижение запасов углерода в органогенном горизонте почвы по сравнению со спелым ельником. В еловом насаждении до рубки запас углерода органогенного горизонта составлял 26.0 тга^{-1} , на вырубке он в 1.3 раза меньше.

Исследования динамики выделения диоксида углерода с поверхности полугидроморфной почвы вырубке ельника черничного влажного также выявили некоторые аспекты влияния промышленных рубок на функционирование еловых экосистем. В суточной динамике максимальные значения потока CO_2 с поверхности почвы вырубке наблюдаются в дневные, а минимальные – в ночные часы. Для сезонной кривой выделения углекислого газа с поверхности почвы характерен классический ее ход со смещением пика выделения диоксида углерода на июнь-июль. Установлена положительная корреляция между выделением CO_2 и среднесуточными значениями почвенной температуры и влажности. За вегетационный сезон (май-октябрь) эмиссия CO_2 с поверхности полугидроморфной почвы вырубке ельника черничного влажного составляет $4.16 \pm 0.54 \text{ тСга}^{-1}$, что в 1.7 раза больше, чем с поверхности такой же почвы старовозрастного ельника чернично-сфагнового.

Таким образом, сплошнолесосечная рубка приводит к значительным изменениям как запасов, так и потоков углерода в лесных экосистемах. В годичном круговороте углерода в системе почва-фитоценоз в экосистеме вырубки на полугидроморфной почвах значима роль растений напочвенного покрова и КДО.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН № 18-4-4-29 “Зональные закономерности бюджета углерода в лиственно-хвойных экосистемах европейского Северо-Востока”.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Бобкова К.С., Лиханова Н.В. Вынос углерода и элементов минерального питания при сплошнолесосечных рубках ельников средней тайги // Лесоведение. 2012. №5. С. 44-54.
- Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
- Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) / Лесоведение и лесоводство. // Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ АН СССР, 1975. Т. 1. С. 9-189.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТНОГО ГРАДИЕНТА НА ДЫХАНИЕ ПОЧВ В ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

В.О. ЛОПЕС ДЕ ГЕРЕНЮ¹, В.В. КАГАНОВ², И.Н. КУРГАНОВА¹, В.И. ЛИЧКО¹,
А.Н. КУЗНЕЦОВ³

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пушкино,

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

³Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр; Ханой-Хошимин, Вьетнам

Изучение роли тропических лесов в поддержании глобального углеродного баланса в настоящее время сохраняет особую актуальность, учитывая их огромное значение в формировании атмосферы Земли: на долю тропических лесов приходится 32-36% нетто-экосистемной продукции наземных экотопов (Field et al., 1998). К настоящему времени преобладающая часть исследований почвенного дыхания выполнена в бореальных и неморальных лесах. Количественная оценка эмиссии CO₂ из почв в тропических лесах, в особенности в регионе юго-восточной Азии, базируется на фрагментарных наблюдениях (Keller et al., 1986; Hashimoto et al., 2004). В связи с этим, корректные оценки роли тропических лесов в углеродном балансе в условиях происходящих в настоящее время климатических изменений требуют организации и проведения многолетних мониторинговых наблюдений. Почти вся территория Вьетнама, ранее покрытая тропическими муссонными

лесами, в настоящее время используется для производства различной сельхозпродукции. Относительно нетронутые муссонные полулистопадные леса сохранились только в местах, практически непригодных для ведения сельского хозяйства. Эти территории в некоторых регионах страны используются для создания национальных парков (НП). Однако и в них хозяйственная деятельность полностью не прекращена. Цель нашей работы состояла в сравнительной оценке дыхания почв в экосистемах естественных тропических лесов, расположенных на разных высотах относительно уровня моря и имеющих разную степень антропогенной нагрузки.

Исследования проводили на территории трех национальных парков: (1) НП Нам Кат Тьен (11.26521° N; 107.26354° E, высота н.у.м. 140 м., антропогенная нагрузка отсутствует); (2) НП Йок Дон (12.96267° N; 107.81841° E, высота н.у.м. 230 м., выраженная антропогенная нагрузка) и (3) НП Бу Зя Мап (12.19879° N; 107.20738°, высота н.у.м. 430 м., антропогенная нагрузка отсутствует). В каждом парке для проведения стационарных наблюдений за эмиссией CO₂ из почв (почвенным дыханием) были выбраны площадки с относительным преобладанием представителей семейства Диптерокарповые (*Dipterocarpaceae*) и рода Лагерстремия (*Lagerstroemia*). На каждой площадке закладывали почвенные разрезы, в которых послойно проводили отбор почвенных проб (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 и 40-50 см) и определение объемной массы почв (на тех же глубинах). Почвенные образцы высушивали, пропускали через сито с диаметром ячеек 2 мм и затем в них определяли содержание гигроскопической влаги (ГВ), полную влагоемкость (ПВ), рН_{H2O} (потенциометрически), содержание общих форм С и N (автоматический CHNS анализатор Лесо), скорость базального дыхания (БД) и углерод микробной биомассы (Смик).

Измерение почвенного дыхания (эмиссии CO₂ из почв) проводили методом закрытых камер (Лопес де Гереню и др., 2005), которые врезали в почву на глубину 3-5 см. Определение концентрации CO₂ в камерах проводили с помощью инфракрасных газоанализаторов (Li COR 820 или AZ 719). Определяемый поток CO₂ представлял собой суммарное дыхание почвенной микрофлоры, листового опада, корней и мортмассы травянистой растительности без учета дыхания надземного яруса фитомассы. Измерения проводили конце сухого сезона (февраль-март) и в конце влажного сезона (ноябрь-декабрь) в 2009-2010 гг. (НП Нам Кат Тьен) и в 2018-2019 гг. (НП Йок Дон и Бу Зя Мап).

Почвы на стационарных площадках заметно отличались по основным физико-химическим свойствам и активности микробного сообщества как в зависимости от основной лесообразующей породы, так и от уровня антропогенного влияния. Так, содержание С в почвах лагерстремиевых древостоев (слой 0-5 см) варьировало незначительно (4.5-4.8%), в то

время как в насаждениях диптерокарпуса содержание С изменялось от 1.3% в почвах НП Йок Дон (сильная антропогенная нагрузка) до 4.0% в почвах НП Бу Зя Мап. Запасы С в почвах южного Вьетнама под диптерокарповыми насаждениями (слой 0-50 см) уменьшались в ряду Бу Зя Мап (11.6 кг С/м^2) > Кат Тьен (9.8 кг С/м^2) > Йок Дон (2.9 кг С/м^2). В почвах под лагерстремиевыми насаждениями запасы С в слое 0-50 см убывали в том же ряду Бу Зя Мап (14.0 кг С/м^2) > Кат Тьен (12.9 кг С/м^2) > Йок Дон (9.0 кг С/м^2). Содержание углерода микробной биомассы в почвах под диптерокарповым древостоем (слой 0-5 см) изменялось от 321 до 545 мг С/кг почвы, а в почве под лагерстремией было чуть выше и варьировало от 436 до 758 мг С/кг почвы, повторяя закономерности, описанные для запасов С в этих почвах.

Влажность почвы оказывает огромное влияние на формирование эмиссионного потока CO_2 из почв. В почвах муссонных тропических лесов она сильно зависит от сезона. Так, в конце влажного сезона на всех площадках средняя влажность почв в слое 0-5 см была существенно выше, чем в конце сухого сезона и составляла, соответственно, 8.5 и 1.7 об. % на площадках НП Йок Дон, 39% и 22% на площадках НП Бу Зя Мап и 34% до 11% на площадках НП Нам Кат Тьен.

Дыхание почв было самым низким ($65-88 \text{ мг С/м}^2/\text{час}$) в сухой сезон в лагерстремиевых и диптерокарпусовых насаждениях НП Йок Дон, характеризующихся наименьшей влажностью (1.3-2.0 об. %) и высоким уровнем антропогенного влияния (сильный выпас скота и периодические палы сухих листьев). Самый высокий поток CO_2 из почв в сухой сезон демонстрировали наиболее влажные площадки НП Бу Зя Мап $182-284 \text{ мг С/м}^2/\text{час}$. Из-за более высокого положения в рельефе, территория этого НП получала существенно более высокое количество осадков, и влажность почв в разгар сухого сезона здесь составляла 20.6-25.8 об. %. Во влажный сезон, когда в почвах было достаточное количество влаги, дыхание почв заметно увеличивалось. На площадках НП Нам Кат Тьен это превышение было 2-х кратным, а в насаждениях диптерокарпуса НП Йок Дон – трехкратным. На площадках НП Бу Зя Мап дыхание почв во влажный и сухой сезоны достоверно не отличалось, что мы связываем с некоторым переувлажнением почв на площадках НП во влажный сезон. Не было заметных отличий по величине потоков CO_2 из почв диптерокарпового насаждения в НП Йок Дон.

В данной работе представлены первые результаты исследования эмиссии CO_2 из лесных почв трех национальных парков южного Вьетнама, расположенных на разной высоте. Учитывая временную дискретность проведенных наблюдений, полученные оценки можно считать лишь предварительными. Однако представленные результаты позволяют говорить о влиянии как высотного градиента на дыхание почв в тропических лесах южного Вьетнама,

так и уровня антропогенной нагрузки. Влияние типа насаждения проявлялось не всегда и не во всех национальных парках.

**Работа выполнялась в рамках государственного задания “Исследование почвенных предшественников, источников и стоков парниковых газов в связи с климатическими изменениями” (рег. № АААА-А18-118013190177-9).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Замолодчиков Д.Г., Кудеяров В.Н. Методы количественной оценки потоков диоксида углерода из почв // Методы исследований органического вещества почв. Владимир, 2005. С. 408-425.
- Field C.B., Behrenfeld M.J., Randerson J.T., Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components // Science. 1998. V. 281. P. 237–240.
- Hashimoto S., Tanaka N., Suzuki M., Inoue A., Takizawa H., Kosaka I., Tanaka K., Tantasirin C., Tangtham N. Soil respiration and soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand // J. For. Res. 2004. V. 9. P. 75–79.
- Keller M., Kaplan W.A., Wofsy S.C. Emissions of N₂O, CH₄ and CO₂ from tropical forest soils // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. P. 11791–11802.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ С В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПРИ ВНЕСЕНИИ РАЗНЫХ ФОРМ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА

А.И. МАТВИЕНКО¹, М.С. ГРОМОВА², О.В. МЕНЯЙЛО¹

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

В нескольких исследованиях сообщалось о различном влиянии добавок N на поток CO₂ и температурную чувствительность (Q₁₀) минерализации почвенного органического вещества, как в полевых (Coucheney et al., 2013; Wang et al., 2018), так и в лабораторных условиях (Ramirez et al., 2012; Wei и др., 2017). Все различия в значениях Q₁₀ являются результатом температурно-зависимых влияний азота на разложение. Понимание каким образом удобрение лесов будет влиять на минерализацию почвенного углерода, ее температурную чувствительность, и как следствие, на запас почвенного С необходимо для лучшего прогнозирования отклика экосистем на изменяющиеся условия среды.

Для выяснения механизмов влияния N на минерализацию почвенного органического вещества (С) и показатели ее температурной чувствительности было проведено два лабораторных инкубационных эксперимента. Инкубацию и измерение активности минерализации (характеризующуюся скоростью образования CO₂ из образцов) проводили с помощью автоматической системы, состоящей из анализатора CO₂, соединенной с 16-

канальным мультиплексором и инкубатором, меняющим температуру согласно установленной программе. В первом эксперименте инкубировались образцы из минеральных и органических горизонтов почвы, собранные на участках с двумя различными породами деревьев лиственницей сибирской и сосной обыкновенной. В 16 стеклянных сосудов объемом 0.5 л помещали по 100 г образца подстилки, либо минерального горизонта, вносили добавки азот в форме нитрата аммония, дополнительный углерод – глюкозу, в четырех повторностях и контроль, инкубировали в течении 4 х суток. Температура в инкубаторе циклически менялась от 20 до 10 °С. Измерение скорости образования CO₂ проводили каждые 2 часа таким образом, чтобы при температуре 20 °С было 4 измерения, а при температуре 10 °С – одно. Во втором эксперименте использовались образцы минеральных и органических горизонтов почв из-под сосны, температура изменялась от 25 до 15 и 5°С, варьировалась форма внесенного минерального азота: KNO₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃. Количество удобрения соответствовало поступлению азота в количестве 170 мкг N г⁻¹ почвы (как и в первом эксперименте).

Данный метод с периодически меняющейся температурой позволяет компенсировать последствия существенных различий в доступности субстрата (Zhu, Cheng, 2011), термической акклиматизации почвенных микроорганизмов (Karhu et al., 2014) или изменений в составе сообщества, которое может следовать за постоянными высокими температурами и исказить значения Q₁₀ (Wang et al., 2018).

Значения Q₁₀ рассчитывались для каждого цикла понижения/повышения температуры как отношение средней активности выделения CO₂ при высоких температурах до и после понижения температуры и активности выделения CO₂ при низкой температуре (Fang, Moncrieff, 2001).

В первом эксперименте активность гетеротрофного дыхания в подстилках была в 10 раз выше, чем в минеральной почве, везде снижаясь со временем инкубации из-за истощения лабильных субстратов. Скорость выделения CO₂ в образцах подстилки сосны была значимо выше, чем в образцах подстилки из-под лиственницы.

Средние значения были равны 2.2 в минеральных горизонтах и 1.6 в образцах подстилки из-под лиственницы и 2.4 и 1.7 – из-под сосны. Значимо большая температурная чувствительность в минеральных горизонтах является следствием содержания большего количества устойчивого (старого) органического вещества (Davidson, Janssens, 2006). Поэтому внесение глюкозы снизило температурную чувствительность минерализации C только в образцах минеральных горизонтов, значения Q₁₀ приблизились к 2. Средние

скорости выделения CO_2 после внесения глюкозы увеличились во всех образцах почвы и при обеих температурах.

Добавление N увеличивало среднюю скорость потока CO_2 ($P < 0.010$) только в образцах подстилки сосны и только при самой высокой температуре. Это первый признак того, что влияние N зависит от температуры. Также добавление азота увеличило температурную чувствительность во всех образцах.

В образцах подстилки внесение глюкозы и азота вместе значимо не повлияло на среднюю скорость образования CO_2 по сравнению с внесением только глюкозы, а в минеральных горизонтах удвоило при высокой температуре. Повышение температуры усиливает оборот микробной биомассы, а внесенные азот и глюкоза снимают лимитацию в минеральных почвах, бедных по легкодоступным субстратам необходимым микроорганизмам для роста.

Второй эксперимент показал, что добавление N-содержащих солей значимо снизило средние скорости потока в минеральных почвах, но не в подстилках, где добавление KNO_3 даже значимо увеличило активность выделения CO_2 при всех температурах. Значения Q_{10} здесь вычислялись для трех температурных диапазонов: 25-15, 5-15 и 15-25 °C. Как и ожидалось Q_{10} для низкого диапазона были больше, чем для более высокого, но не было различий в значениях, когда температура снижалась с 25 до 15 °C или повышалась с 15 до 25 °C.

Добавление NH_4NO_3 значимо увеличило значения Q_{10} в минеральном горизонтах и подстилке, но только в более низких температурных диапазонах. Нитрат калия и сульфат аммония не изменили значения Q_{10} . Это означает, что не только стехиометрия разлагающихся субстратов напрямую влияет на температурную чувствительность, поскольку при разных формах минерального азотного удобрения дозы добавленного N были одинаковы, а существенное влияние на значения Q_{10} оказал только нитрат аммония. В целом, различные N-содержащие соли оказывают различное влияние на образование CO_2 и температурную чувствительность процесса. KNO_3 увеличил выделение CO_2 в подстилке без изменения значений Q_{10} . Добавление NH_4NO_3 не оказало существенного влияния на выделение CO_2 , но сильно увеличило значения Q_{10} , что может быть признаком образования с участием азота более устойчивых к разложению молекул (Berg, 2000).

Таким образом, NH_4NO_3 имеет тенденцию увеличивать минерализацию C в подстилках и ингибировать в минеральных почвах. Отрицательный (ингибирующий) эффект сильнее при более низких температурах (5 °C), положительный эффект сильнее при более высокой температуре (20 °C). Температурная чувствительность процессов минерализации

почвенного органического вещества в обоих случаях повышается, что нужно учитывать при моделировании цикла С и удобрении почв для интенсивного использования и воспроизводства лесов.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-04-01776 и 18-54-52005).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils //Forest ecology and Management. – 2000. V. 133. №. 1-2. P. 13-22.
- Coucheney E., Strömgen M., Lerch T. Z., Herrmann A. M.. Long- term fertilization of a boreal Norway spruce forest increases the temperature sensitivity of soil organic carbon mineralization //Ecology and evolution. 2013. V. 3. №. 16. P. 5177-5188.
- Davidson E. A., Janssens I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change //Nature. 2006. V. 440. №. 7081. P. 165.
- Fang C., Moncrieff J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature //Soil Biology and Biochemistry. 2001. V. 33. №. 2. P. 155-165.
- Karhu K. et al. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response //Nature. – 2014. V. 513. №. 7516. P. 81.
- Ramirez K. S., Craine J. M., Fierer N. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes //Global Change Biology. 2012. V. 18. №. 6. P. 1918-1927.
- Wang Q., Liu S., Tian P. Carbon quality and soil microbial property control the latitudinal pattern in temperature sensitivity of soil microbial respiration across Chinese forest ecosystems //Global change biology. 2018. V. 24. №. 7. P. 2841-2849.
- Wei H., Chen X., He J., Zhang J., Shen W. Exogenous Nitrogen Addition Reduced the Temperature Sensitivity of Microbial Respiration without Altering the Microbial Community Composition //Frontiers in microbiology. 2017. V. 8. P. 2382.
- Zhu B., Cheng W. Constant and diurnally-varying temperature regimes lead to different temperature sensitivities of soil organic carbon decomposition //Soil Biology and Biochemistry. 2011.V. 43. №. 4. P. 866-869.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТИПА ЭКОСИСТЕМЫ, АЗОТНЫХ И ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ И ПРАЙМИНГ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ

О.В. МЕНЯЙЛО¹, О.Е. МАЛЫШЕВА², А.И. МАТВИЕНКО¹, М.С. ГРОМОВА²

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

В последнее время большой интерес вызывает прайминг органического вещества почв – главного резервуара углерода в биосфере. Прайминг – краткосрочное изменение скорости минерализации органического вещества при поступлении в почву органических или минеральных субстратов (Kuzyakov et al., 2000). Актуальность исследования прайминга связана с ростом концентрации CO₂ в атмосфере, что повышает активность фотосинтеза и рост растений, приводя к увеличению поступления свежего органического вещества (с

корневыми экссудатами и микоризой) в почву. Это может привести к повышению скорости минерализации почвенного углерода и повышению почвенной эмиссии CO₂, создавая положительную обратную связь между климатом и почвой. Механизмы прайминга до конца не выяснены (Blagodatskaya and Kuzyakov, 2008), предполагается что при попадании в почву свежего органического субстрата, бедного азотом, микроорганизмы для его разложения начинают добывать азот, более активно минерализуя старое органическое вещество (Craine et al., 2007). Целью данной работы было изучение активности прайминга в серой лесной почве ельника и лесной поляны, при разных температурах, с добавкой и без азотных и фосфорных минеральных удобрений.

Были отобраны два смешанных почвенных образца, состоящих из 10 под-образцов, с ельника мохового и разнотравной лесной поляны. Все образцы были из верхнего минерального горизонта (0-10 см) горизонта А. Свежие образцы просеяны через сито в 1 мм, и разложены по 10 г в стеклянные баночки объемом 100 мл. Всего было 24 банок с почвой из под ельника и 24 с почвой лесной поляны. Таким образом мы имеем 1-ый общий фактор «**тип экосистемы**» (2 уровня – поляна и лес). Далее, половина образцов (банок) из каждой группы инкубировалась при температуре 5 °С, другая – при 15 °С. Температуры взяты характерные для реальных полевых условий, они отличаются ровно на 10 °С, с тем чтобы можно было прямо рассчитать важнейший показатель температурной чувствительности – Q₁₀. Таким образом, мы имеем второй общий фактор «**температура**», тоже с двумя уровнями 5 и 15 °С. Итого у нас 12 образцов из каждой экосистемы при каждой температуре. Далее мы описываем варианты для 12 баночек, но эти же варианты будут применяться для каждой экосистемы и температуры. Первые 3 банки – контроль, вторые три банки – добавили раствор меченой ¹³С-глюкозы, еще три банки этот же раствор глюкозы плюс азот, следующие три банки – раствор глюкозы с ¹³С плюс фосфор. Меченая глюкоза необходима для расчета прайминга В контроль добавлена вода для выравнивания влажности после внесения растворов в варианты. Теперь мы имеем третий общий фактор для статистического анализа – «**удобрения**» с двумя уровнями N и P.

Далее, баночки герметично закрывались резиновыми пробками, фиксировались зажимами и инкубировались 9 сут, каждые сутки отбирали из газовой фазы воздушный образец (1 мл) для анализа концентрации CO₂ и изотопного состава ¹³С-CO₂ на анализаторе Picarro 2131. Банки каждые 3 дня открывали на 30 мин для проветривания.

Повышение температуры увеличивало базальное дыхание (без добавок) в почве под ельником больше, чем в лесной поляне. Это указывает на наличие в лесной поляне какого-либо другого лимитирующего фактора, помимо температуры. Добавление в почву глюкозы

резко увеличивает температурный отклик скорости образования CO_2 , из-за повышенной чувствительности минерализации глюкозы к повышению температуры. Добавление азота и глюкозы вместе приводит к росту микроорганизмов, что выражается в максимальной скорости образования CO_2 . Прайминг зависит и от температуры, и от удобрений, и от типа экосистем. Самый большой и отрицательный прайминг наблюдался в почве под ельником при $15\text{ }^\circ\text{C}$, что говорит об ингибировании минерализации С поступлением свежего углерода.

Экологическая значимость работы заключается в том, что выявленный отрицательный и большой прайминг в почве под елью при $15\text{ }^\circ\text{C}$ указывает на то, что при поступлении в почву свежего органического вещества, минерализация органического старого вещества уменьшается, примерно в два раза. Возможно, этим и объясняется высокое содержание углерода в почвах под ельниками. Поступление азота прекращает отрицательный прайминг, превращает его в положительный, то есть при поступлении азота увеличивается скорость минерализации органического вещества (Janssens et al., 2010). Глобальные изменения климата, увеличение CO_2 в атмосфере, увеличение поступления свежего углерода под ельниками приведет к дополнительному накоплению углерода в почве (за счет отрицательного прайминга). Азотные депозиты, наоборот, могут уменьшить накопление углерода в почвах под ельниками.

На основании проделанной работы можно сделать некоторые выводы:

1. Повышение температуры увеличивает базальное дыхание (без добавок) в почве под ельником больше, чем в лесной поляне.
2. Добавление в почву глюкозы резко увеличивает температурный отклик скорости образования CO_2 , из-за повышенной чувствительности минерализации глюкозы к повышению температуры.
3. Добавление азота и глюкозы вместе приводит к росту микроорганизмов, что выражается в максимальной скорости образования CO_2 .
4. Прайминг зависит и от температуры, и от удобрений, и от типа экосистем. Самый большой и отрицательный прайминг наблюдался в почве под ельником при $15\text{ }^\circ\text{C}$, что говорит об ингибировании минерализации С поступлением свежего углерода.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-04-01776 и 18-54-52005).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Blagodatskaya EV, Kuzyakov Y (2008) Mechanisms of real and apparent priming effect and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 115–131.
- Craine JM, Morrow C, Fierer NO (2007) Microbial nitrogen limitation increases decomposition. *Ecology*, 88, 2105–2113.
- Janssens IA, Dieleman W, Luysaert S et al. (2010) Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. *Nature Geoscience*, 3, 315–322.

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭМИССИЮ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (НА ПРИМЕРЕ КАРЕЛИИ)

Е.В. МОШКИНА, А.В. МАМАЙ, И.В. РОМАШКИН

Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск

Дыхание почвы составляет порядка 30% от суммарной глобальной эмиссии CO₂ в атмосферу (Заварзин, Кудеяров, 2006). Актуальность исследований потоков углеродсодержащих газов в растительных сообществах связана с необходимостью прогноза накопления в атмосфере парниковых газов, которые приводят к изменению климата на планете (Schindlbacher et al., 2012). С выделением диоксида углерода обеспечивается возврат его в атмосферу, который необходим для осуществления биопродукционных процессов наземных экосистем (Ваганов и др., 2005). Кроме того, эмиссия CO₂ служит интегральным показателем, характеризующим круговорот веществ и плодородие почв лесных биогеоценозов (Карпачевский, 1981), и зависит от множества факторов среды (Карелин и др., 2014; Luan et al., 2012).

Влияние таких важнейших экологических факторов как температура и влажность почв на эмиссию CO₂ достаточно хорошо изучено, тогда как не ясна роль факторов, в значительной степени определяющих пространственную вариацию эмиссии CO₂: биотических (масса корней и опада, парцеллярная структура напочвенного покрова, зоны фитогенного поля дерева, комплекс деструкторов органического вещества) и почвенных (гранулометрический состав, содержание С, N, отношение С/N, плотность почвы). Результаты исследований закономерностей выделения CO₂ с поверхности почвы в зависимости от экологических факторов для еловых сообществ таежной зоны европейской части России опубликованы в работах (Машика, 2006; Кузнецов, 2010; Курганова и др., 2011; Карелин и др., 2014). Публикации, освещающие дыхание почв сосновых экосистем, малочисленны (Матвиенко и др., 2014; Осипов, 2015; Осипов, Сизоненко, 2017). В связи с огромным разнообразием растительности России, необходимы исследования дыхания почвы

в разных типах экосистем для накопления банка зональных данных для моделей эмиссии CO₂ и изучения факторов ее пространственной дисперсии.

Данная работа была направлена на количественное определение эмиссии CO₂, в том числе ее сезонной динамики, с поверхности почвы (подзола иллювиально-железистого под сосняком брусничным), и анализ влияния некоторых экологических факторов в условиях среднетаежной подзоны Карелии (N62°17'22.1'', E34°01'07.7''). Исследования проводили на территории государственного природного заповедника «Кивач» с учетом парцеллярной структуры напочвенного покрова (брусничная, черничная, лишайниковая, зеленомошная) и зон фитогенного поля дерева (приствольное повышение – «ствол», подкрановое пространство – «крона», межкрановое пространство – «окно»). Измерения выполнены с мая по октябрь в 2017–2018 гг. с использованием камерного метода и портативного газоанализатора на базе инфракрасного сенсора AZ 7722 (AZ Instrument Corp.) и помпы E134–11–120 (Hargraves Technologies Corp.). В течение всего периода наблюдений во время измерения почвенного дыхания рядом с камерой фиксировали температуру приземного слоя воздуха и температуру верхних горизонтов почвы при помощи термометра Chectemp1 (Hanna Instruments), а также отбирались образцы почв для определения влажности (весовым методом).

Установлено, что величина эмиссии CO₂ с поверхности почвы варьировала за вегетационный период от 21 до 606 мг C-CO₂/м² час. В целом потери углерода в виде CO₂ с поверхности почвы сосняка брусничного за вегетационный период (с мая по октябрь) составили 878±67г C/м² с максимальными значениями в июле-августе. Дисперсионный анализ показал статистически значимое влияние парцеллярной структуры живого напочвенного покрова (p=0,0170), фитогенного поля дерева (p=0,0002) и сезона измерений (p=0,0010) на поток CO₂ из почв, что обуславливает его высокую пространственно-временную вариабельность. Наибольшая эмиссия CO₂ из почвы не зависимо от периода наблюдения приурочена к зеленомошным парцеллам. Интенсивность дыхания в зависимости от зоны фитогенного поля дерева можно расположить в ряду по убыванию: ствол – крона – окно. Влияние на величину потока CO₂ наличия или отсутствия напочвенной растительности в камере во время измерений не выявлено.

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

ЛИТЕРАТУРА:

- Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Онучин А.А., Сухинин А.И., Шибистова О.Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 631–650.
- 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.

- Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л. Факторы пространственно–временной изменчивости потоков CO₂ из почв южнотаежного ельника на Валдае // Лесоведение. 2014. № 4. С. 56–66.
- Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. С. 76–199.
- Кузнецов М.А. Динамика содержания органического углерода в заболоченных ельниках средней тайги: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук 03.02.08. Сыктывкар. 2010. 20 с.
- Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Кудеяров В.Н. Эмиссия CO₂ из почв различных экосистем южнотаежной зоны: анализ данных непрерывных 12–летних круглогодичных наблюдений // Доклады академии наук. 2011. Том 436. № 6. С. 843–846.
- Матвиенко А.И., Макаров М.И., Меняйло О.В. Биологические источники почвенного CO₂ под лиственницей сибирской и сосной обыкновенной // Экология. 2014. № 3. С. 182–188.
- Машика А.В. Эмиссия диоксида углерода с поверхности подзолистой почвы // Почвоведение. 2006. № 12. С. 1457–1463.
- Осипов А.Ф. Эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы спелого сосняка черничного в средней тайге Республики Коми // Лесоведение. 2015. № 5. С. 356–366.
- Осипов А.Ф., Сизоненко Т.А. Оценка влияния экологических факторов на эмиссию CO₂ с поверхности почвы сосняка бруснично–лишайникового // Теоретические и прикладные аспекты лесного почвоведения: Сборник материалов VII Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С. 419.
- Luan J., Liu S., Zhu X., Wang J., Liu K. Roles of biotic and abiotic variables in determining spatial variation of soil respiration in secondary oak and planted pine forests // Soil Biol. & Biochem. 2012. Vol. 44. P. 143–150.
- Schindlbacher A., Wunderlich S., Borken W., Kitzler B., Zechmeister–Boltenstern S., Jandl R. Soil respiration under climate change: prolonged summer drought offsets soil warming effects // Global Change Biology. 2012. Vol. 18. P. 2270–2279.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДА ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ В ОБЩИЕ ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА ЛЕСНЫХ РЕГИОНОВ

И.М. РЫЖОВА¹, О.В. ЧЕРНОВА², М.А. ПОДВЕЗЕННАЯ¹

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

²Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, г. Москва

В связи с проблемами глобального изменения климата большое внимание уделяется уточнению оценок запасов органического вещества почв, так как они играют ведущую роль в биогеохимическом цикле углерода. Качество глобальных оценок запасов почвенного углерода зависит от точности региональных оценок, для получения которых в настоящее время используются разные источники информации и разнообразные методы пространственного анализа данных. Неопределенность региональных оценок запасов почвенного углерода в лесной зоне России может быть связана с тем, что далеко не всегда принимают во внимание полугидроморфные почвы. Как правило, учитывают только запасы углерода в преобладающих по площади автоморфных почвах и его запасы в гидроморфных почвах болот. Это объясняется недостатком данных о запасах углерода в полугидроморфных почвах и их большим разбросом. В России на полугидроморфные почвы и комплексы с преобладанием таких почв приходится около 26% территории. Большая часть из них расположена в таежной зоне, на которую приходится около 70% площади всех полугидроморфных почв России (Chernova et al., 2017). Запасы углерода в полугидроморфных

почвах значительно выше, чем в автоморфных (Осипов, Кузнецов, 2010;. Бахмет, 2018). Поэтому они могут вносить заметный вклад в общие запасы почвенного углерода лесной зоны, несмотря на то, что на их долю приходится значительно меньшая площадь по сравнению с автоморфными. Серьезной проблемой, с которой связана неопределенность региональных оценок пула почвенного углерода является отсутствие сведений о плотности почв во многих записях, характеризующих почвенные профили в базах данных, что связано с трудоемкостью определения этого параметра, необходимого для расчета запасов углерода в почве. Для ее решения предложены различные методы получения недостающих оценок плотности почв. Наиболее простым способом является использование средних значений или медиан, полученных по имеющимся ограниченными экспериментальными данными. Очень широкое распространение получили педотрансферные функции (ПТФ), позволяющие вычислить значение плотности почв на основе другой доступной информации (содержание органического вещества, рН, гранулометрический состав, тип и глубина горизонтов почв, характер растительности, свойства почвообразующих пород и др.). Основной переменной для предсказания плотности является содержание органического вещества в почве (Jalabert et al., 2010). Поэтому подавляющее большинство ПТФ являются функциями только одной этой переменной. Во многих работах в качестве дополнительных переменных выступают гранулометрический состав почвы или глубина горизонта. Так как педотрансферные функции являются эмпирическими, их нужно применять с осторожностью, особенно для регионов, отличных по своим характеристикам от тех, для которых они первоначально были получены. Для оценки плотности почв также используются концептуальные модели и методы интеллектуального анализа данных. От способа расчета плотности зависит точность региональных оценок запасов почвенного углерода. Специально проведенные исследования выявили различия в региональных оценках запасов почвенного углерода, полученных на основе одного массива данных, но с использованием разных способов определения недостающих значений плотности почв (Xu et al., 2016). Поэтому для каждого региона особого внимания заслуживает подбор метода, позволяющего оценить плотность почв с наименьшей ошибкой (Hollis et al., 2012).

В настоящем исследовании были поставлены следующие задачи: выбор ПТФ для определения плотности лесных почв европейской территории России; сравнение запасов углерода автоморфных и полугидроморфных почв лесной зоны и определение вклада полугидроморфных почв в общие запасы почвенного углерода в региональном масштабе.

Объекты и методы. Оценки запасов углерода автоморфных и полугидроморфных лесных почв получены на основе массива данных, который включает характеристики 289

почвенных разрезов, расположенных в лесной зоне европейской территории России. Из них 201 разрез характеризует автоморфные почвы и 88 разрезов – полугидроморфные почвы. Для оценки плотности минеральных горизонтов почв тех разрезов, где она не определялась экспериментально, использовалась педотрансферная функция, в которой аргументами служат содержание гумуса и глубина середины горизонта (Честных, Замолодчиков, 2004). Эта функция выбрана по результатам специально проведенного нами сравнения методов расчета плотности почв. Было установлено, что среди сравниваемых ПТФ она дает наиболее точные оценки для минеральных горизонтов лесных почв европейской территории России (наименьшая среднеквадратическая ошибка $RMSE = 0.15$, $R^2 = 0.36$). К сожалению, для органогенных горизонтов не удалось подобрать ПТФ, дающую удовлетворительную точность, поэтому для них плотность определялась по средним значениям в зависимости от вида горизонта и типа экосистемы.

Обсуждение результатов. Проведенный анализ данных показал, что запасы органического углерода (с учетом подстилки) в полугидроморфных почвах в среднем примерно в три раза выше, чем в автоморфных. С увеличением мощности рассматриваемого почвенного слоя различия уменьшаются от 3.2 для слоя 0-30 см. до 2.6 для метровой толщи. Это связано с тем, что в изучаемых почвах большая часть пула органического углерода сосредоточена в верхнем 30см слое, на долю которого в полугидроморфных почвах приходится 75% от общего запаса, а в автоморфных только 60%. Наиболее сильно различаются запасы углерода в органогенном слое сравниваемых почв. В полугидроморфных почвах они в среднем составляют 73 ± 8.2 т С/га, что в 7 раз выше чем в автоморфных почвах. Эти различия обусловлены не только большим накоплением углерода в подстилках полугидроморфных почв, но и его значительной аккумуляцией в перегнойных, торфянистых и торфяных горизонтах. Запасы углерода в полугидроморфных почвах характеризуются большой пространственной вариабельностью. В автоморфных почвах для слоев разной мощности коэффициенты вариации составляют 45-53%, а в полугидроморфных они возрастают до 67-73%.

В тех случаях, когда при определении запасов углерода в регионах лесной зоны ЕТР из-за недостатка данных опираются только на величину запасов углерода в преобладающих по площади автоморфных почвах с учетом гидроморфных почв болот, а вкладом полугидроморфных почв пренебрегают, возможна недооценка запасов органического углерода в почвах региона. Величина недооценки определяется структурой почвенного покрова изучаемой территории и мощностью рассматриваемой почвенной толщи. Проведенные на примере Карелии расчеты показали, что для разных ландшафтов недооценка

запасов органического углерода почв варьирует от 10 до 40%. Для всей территории республики для 30, 50 и 100-см слоев почвы она составляет соответственно 22, 19 и 13%.

ЛИТЕРАТУРА:

- Бахмет О.Н. Запасы углерода в почвах сосновых и еловых лесов Карелии // Лесоведение. 2018. № 1. С. 48–55.
- Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Содержание органического углерода в болотно-подзолистых почвах хвойных лесов средней тайги европейского Северо-Востока России // Лесоведение. 2010. № 6. С. 65–70.
- Честных О.В., Замолотчиков Д.Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение. 2004. № 8. С. 937–944.
- Chernova O. V., Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A. The uncertainty of regional assessments of organic carbon pools in taiga soils // Global Soil Map Digital Soil Mapping from Country to Globe: Proceedings of the Global Soil Map 2017 Conference, July 4-6, 2017, Moscow, Russia. — CRC Press, 2017.
- Hollis J.M., Hannam J., Bellamy P.H. Empirically derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils // European Journal of Soil Science. 2012. V. 63. P. 96–109.
- Jalabert S.S.M., Martin M.P., Renaud J.P., Boulonne L., Jolivet C., Montanarella L., Arrouays D. Estimating forest soil bulk density using boosted regression modeling // Soil Use and Management. 2010 V 26. P. 516–528.
- Xu L., He N., Yu G. Methods of evaluating soil bulk density: Impact on estimating large scale soil organic carbon storage // Catena. 2016. V 144. P. 94–101.

МИКРОМАСШТАБНАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

И.А. СМОРКАЛОВ, Е.Л. ВОРОБЕЙЧИК

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Дыхание почвы – важный показатель её биологической активности, один из основных компонентов цикла углерода наземных экосистем. При увеличении поступления техногенных поллютантов наблюдают как уменьшение, так и отсутствие изменений дыхания почвы (Сморкалов, Воробейчик, 2011, 2016; Кадулин, Копцик, 2013). Оценку дыхания на загрязненных территориях обычно проводят в масштабе десятков–сотен метров (несколько пробных площадей в пределах участка) или единиц–десятков километров (градиент загрязнения). Для условий промышленного загрязнения нам не известны исследования микромасштабного варьирования дыхания почвы, т.е. в пределах десятков сантиметров–единиц метров, хотя анализ в таком масштабе важен как для понимания закономерностей функционирования биоты, так и решения методических вопросов. Можно предположить, что в лесах эмиссия углекислого газа с поверхности почвы в существенной степени должна зависеть от расстояния до стволов деревьев. Цель нашей работы – анализ влияния отдельных деревьев на дыхание почвы в условиях сильного промышленного загрязнения.

Измерения провели 23–24 августа 2013 г. в районе воздействия атмосферных выбросов Среднеуральского медеплавильного завода (расположен около г. Ревды Свердловской обл., южная тайга). Предприятие действует с 1940 г.; в конце 1980-х его

выбросы составляли более 135 тыс. т загрязнителей в год, но в настоящее время почти прекратились (после 2010 г. составляют всего 3 тыс. т/год). Основные ингредиенты выбросов – газообразные соединения серы и тяжелые металлы (Cu, Pb, Zn, Cd и др.). Несмотря на снижения выбросов, вблизи завода пока не произошло ни восстановления растительности, ни очищения почвы от металлов: на сильно загрязненных участках фоновые концентрации металлов превышены на один–два порядка (Воробейчик, Кайгородова, 2017).

Были выбраны два варианта биотопов, широко распространенные в южной тайге Среднего Урала: ельники-пихтарники (ЕП) и вторичные березняки (ВБ). Почвенный покров исследованных участков представлен сочетаниями дерново-подзолистых, бурых горнолесных и серых лесных почв, в разной степени трансформированных под действием техногенных факторов. По состоянию высшей растительности были выделены три зоны загрязнения: импактная (1 км к западу от завода для ВБ, 2 км – для ЕП), буферная (5 км – для ВБ, 4 км – для ЕП) и фоновая (20 км – для ВБ, 30 км – для ЕП).

В каждой зоне загрязнения варианте биотопа выбрали по 5 модельных деревьев: в ЕП – ели (*Picea obovata* Ledeb.), в ВБ – березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) или повислой (*B. pendula* Roth.). Основным критерий их подбора – соседство с окном в пологом леса (но не с крупными полянами или опушками). Модельные деревья подбирали максимально схожими по габитусу (высота ствола не менее 15 м, диаметр – не менее 15 см для березы и 30 см для ели, хорошо развитая крона, отсутствие видимых механических повреждений). Расстояние между модельными деревьями в пределах одного биотопа в фоновой и буферной зонах составляло 15–80 м, в импактной – 10–150 м. Возле каждого дерева заложили по три линии. На каждой линии измерения проводили в трех точках: первая соответствовала приствольному участку (10–20 см от ствола), вторая – середине проекции кроны, третья – окну древостоя. Такая схема была использована нами ранее для оценки влияния деревьев на содержание тяжелых металлов и скорость деструкции целлюлозы в почве (Воробейчик, Пищулин, 2011, 2016). В каждой точке измеряли общую эмиссию углекислого газа (ОД) и дыхание подстилки (ДП), а также определяли запас подстилки. Всего провели 540 измерений возле 30 модельных деревьев.

Скорость эмиссии CO₂ с поверхности почвы измеряли закрытым динамическим камерным методом с помощью полевого респирометра Li-8100A (Li-Cor biosciences, США). Разделение ОД на ДП и дыхание минеральных горизонтов почвы проводили по оригинальной методике (Сморкалов, 2016). Удельную дыхательную активность (УДА) подстилки рассчитывали как отношение ее дыхания к массе подстилки в точке измерения и использовали как показатель активности микрофлоры.

Для оценки изменения вклада разных составляющих общей эмиссии углекислого газа в зависимости от положения относительно ствола дерева использовали отношение откликов (response ratio), которое рассчитывали как $RR = \ln(x_1/x_2)$, где x_1 – значение показателя возле ствола, x_2 – значение показателя в окне древостоя. Данное отношение обладает двумя свойствами, удобными при интерпретации результатов – симметричностью и аддитивностью. Дыхание подстилки (ДП) можно представить так: $ДП = УДА * ЗапП$ и $ДП = ОД * ВклП$, где УДА – удельная дыхательная активность подстилки, ЗапП – запас подстилки, ОД – общая эмиссия CO_2 , ВклП – вклад дыхания подстилки в общую эмиссию. Исходя из этого, величину общей эмиссии с поверхности почвы можно выразить следующим образом: $ОД = УДА * ЗапП * (1/ВклП)$. Соответственно, $RR_{ОД} = RR_{УДА} + RR_{ЗапП} - RR_{ВклП}$. Свойство аддитивности отношения откликов позволяет определить, за счет каких именно составляющих происходит изменение общего дыхания. При усреднении значений по нескольким деревьям аддитивность сохраняется только при использовании средней геометрической, поэтому при расчетах применяли именно ее.

Общее дыхание почвы составляло 5–11 $\mu\text{моль } CO_2/m^2/c$. Дыхание подстилки в ЕП лежало в пределах 1–6 $\mu\text{моль } CO_2/m^2/c$, в ВБ – 1–4 $\mu\text{моль } CO_2/m^2/c$; во всех случаях оно было больше у ствола по сравнению с окном. УДА подстилки не изменялась при удалении от ствола на фоновой территории в обоих вариантах биотопов, но увеличивалась в буферной и импактной зонах в ЕП, а в ВБ – уменьшалась в буферной зоне, но не изменялась в импактной. Из всех показателей дыхания только УДА подстилки уменьшалась при увеличении загрязнения, причем почти на порядок: от 0.2–0.4 $\text{мг } CO_2/г/час$ на фоновой территории до 0.03–0.07 $\text{мг } CO_2/г/час$ в импактной зоне. Вклад дыхания подстилки в общую эмиссию в ЕП составлял 20–65%, в ВБ – 13–43%. На фоновой территории вклад подстилки уменьшался при удалении от ствола в обоих типах биотопов, но не менялся в буферной и импактной зонах.

Анализ отношения откликов показал, что увеличение общей эмиссии возле ствола реализуется за счет взаимодействия разных процессов. На фоновой территории в обоих типах биотопов более высокая эмиссия возле ствола связана с увеличенным вкладом дыхания подстилки, причем за счет ее значительного накопления у ствола при неизменной УДА. На буферной и импактной территориях в ЕП увеличение запаса подстилки при приближении к стволу нивелируется уменьшением ее УДА, соответственно ОД увеличивается в меньшей степени по сравнению с фоновой территорией. В ВБ в буферной зоне ОД выше возле ствола за счет увеличения УДА при отсутствии изменений вклада и запаса подстилки; в импактной – за счет увеличения запаса подстилки при неизменных УДА и вкладе ДП. Таким образом, выявлена значительная микромасштабная вариабельность дыхания подстилки: эмиссия

углекислого газа с поверхности почвы выше в приствольных участках, чем в окнах древостоя. В основе этого увеличения могут лежать разные процессы, различающиеся в зависимости от зоны загрязнения и типа биотопа: либо накопление подстилки, либо изменения ее удельной дыхательной активности.

ЛИТЕРАТУРА:

- Воробейчик Е.Л., Кайгородова С.Ю. Многолетняя динамика содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв в районе воздействия медеплавильного завода в период снижения его выбросов // Почвоведение. 2017. № 8. С. 1009–1024.
- Воробейчик Е.Л., Пищулин П.Г. Влияние деревьев на скорость деструкции целлюлозы в почвах в условиях промышленного загрязнения // Почвоведение. 2011. № 5. С. 597–610.
- Воробейчик Е.Л., Пищулин П.Г. Промышленное загрязнение снижает роль деревьев в формировании структуры полей концентраций тяжелых металлов в лесной подстилке // Экология. 2016. № 5. С. 323–334.
- Кадулин М.С., Копчик Г.Н. Эмиссия CO₂ почвами в зоне влияния горно-металлургического комбината “Североникель” в Кольской Субарктике // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1387–1396.
- Сморкалов И.А. Новая методика определения интенсивности дыхания лесной подстилки в полевых условиях // Экология. 2016. № 5. С. 390–395.
- Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов // Экология. 2011. № 6. С. 429–435.
- Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л. Механизм стабильности эмиссии CO₂ из лесной подстилки в условиях промышленного загрязнения // Лесоведение. 2016. № 1. С. 34–43.

ПРОЦЕССЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ТЕРРИГЕННОГО УГЛЕРОДА В ГИДРОГРАФИЧЕСКУЮ СЕТЬ В БАССЕЙНЕ Р. ЕНИСЕЙ: АДСОРБЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ

И.А. СОЛНЬШКИН, И.В. ТОКАРЕВА, М.П. ПРОКУШКИНА, А.С. ПРОКУШКИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

Почвы криолитозоны являются одним из крупнейших резервуаров углерода (Tarnocai et al., 2009; Hugelius et al., 2014). Деградация многолетней мерзлоты и рост глубины деятельного слоя почв делает доступными микробиологической минерализации значительные запасы ранее законсервированного органического вещества (Schuur et al., 2008). Как следствие, в ландшафтах криолитозоны прогнозируется рост эмиссионных потоков парниковых газов (ПГ) из почвы (Schuur et al., 2015) и увеличение гидрологического экспорта органического вещества из наземных экосистем, что в целом может оказать значительное воздействие на глобальный углеродный цикл (Dolman et al., 2004; McGuire et al., 2001). С другой стороны, остаются крайне слабо изученными механизмы, лежащие в основе иммобилизации органического углерода в почвах, и особенно в ответ на увеличение глубины деятельного слоя. Сорбция водорастворимого органического вещества (ВОВ) на минеральных фазах является ключевым геохимическим процессом в удерживании и

стабилизации углерода в почвах (Malcolm, 1985; Stevenson, 1985; Kaiser et al., 2001). Процесс сорбции органического вещества протекает существенно быстрее, чем его микробная деградация (Qualls & Haines, 1992; Kalbitz et al., 2003) и более эффективна в изъятии ВОВ из растворов, инфильтрующихся через почву. Ранее показано, что сорбция и запасы почвенного органического вещества (ПОВ) зависят от содержания окси/гидроксидов Al и Fe (Kaiser et al., 1996; Kahle et al., 2004; Gentsch et al., 2015; Старцев и др., 2017). Следует, однако отметить, что уже стабилизированное ПОВ снижает сорбцию ВОВ минералами (Jardine et al., 1989; Kaiser et al., 2000).

Целью настоящей работы является определение пространственной изменчивости сорбционных характеристик почвенного покрова бассейна р. Енисей и отдельных лесотундровых участков севера Центральной Сибири. Для исследований был выбран широтный трансект с 58 по 72° с.ш., т.е. от районов без мерзлоты до ее сплошного распространения, в районах около п. Зотино, г. Игарка, п. Тура, п. Хатанга (Ары-Мас) и р. Котуй.

Почвенные разрезы закладывались с использованием катенного подхода: на вершинах холмов, склонах и подножии в пределах малых водосборных бассейнов. Образцы минеральной почвы отбирались по генетическим горизонтам почв (А, В и ВС) при их наличии. При неявно выраженном строении почвенного профиля образцы отбирались из его верхней части (0-5 см), в середине и нижней части (надмерзлотной). Для определения удельной плотности почвы использовалось кольцо (100 см³) в трех повторностях. Образцы для аналитических исследований отбирались массой от 500 до 900 г. Для приготовления раствора ВОВ, используемого в качестве сорбата, с каждой пробной площади были отобраны подстилки (площадь 200 см² в трехкратной повторности).

В лабораторных условиях почвенные образцы просеивались через сито 2 мм и доводились до воздушно сухого состояния. Часть образца высушивалась при 60°C до постоянной массы для последующего определения валового содержания С и N и их изотопного состава ($d^{13}C$ и $d^{15}N$). Для получения водных экстрактов использовалось соотношение 1:10 (почва: деионизированная вода), в которых далее определялись кислотность, удельная электропроводность, содержание биогенных элементов (N-NO₃, N-NO₂, N-NH₃ P-PO₄) с помощью проточно-инжекционного анализатора Lachat QuikChem 8500 series 2 и водозэкстрагируемого органического углерода (ВЭОУ) (Elementar VarioTOC cube). Спектрофотометрические характеристики ВЭОУ (E4:E6, E2:E3, SUVA, S275-295, S350-400, SR и т.д.) были определены на УФ-вид спектрофотометре Cary-100.

Для проведения эксперимента по сорбции ВОВ на минеральных поверхностях почвенных образцов, были приготовлены растворы с разной концентрацией растворенного органического вещества. Исходные растворы готовили путем разбавления концентрата ВОВ, который был получен из подстилок трех видов древостоев. Для исходного концентрата было определено содержание ВЭОУ, удельная электропроводность и кислотность. Всего было использовано пять растворов, путем разведения исходного раствора в 2, 5, 10 раз (включая раствор с нулевой концентрацией и исходный концентрат). Эксперименты по сорбции проводились путем добавления 50 мл раствора к 10 г почвы. После встряхивания в течение 18 ч при комнатной температуре, уравновешенный раствор отделяли от минеральной фазы путем центрифугирования и фильтрации через 0,7 мкм GF/F фильтры (Whatman). Для полученного фильтрата была определена концентрация углерода (Elementar VarioTOC cube). Сорбция ВОВ оценивалась с помощью изотерм сорбции ($RE = mx + b$, Nodvin et al., 1986), которые связывают количество сорбированного углерода с добавленным. Соотношение является линейным до тех пор, пока сорбция не приближается к емкости сорбента, таким образом, ее можно анализировать с помощью линейной регрессии.

Проведенные исследования показали, что коэффициент распределения (m) выше для горизонта В (середине почвенного профиля). Исключение – подзолы иллювиально железистые, Зотино). Причем для этих почв характерны и наименьшие значения m : $0,30 \pm 0,1$ в горизонтах Ah и C1 (глинистый горизонт) и $0,23 \pm 0,02$ в горизонтах B1 и B2. Для криоземов (участки Тура и Игарка) значения m значительно выше, составляя в среднем $0,60 \pm 0,15$. Значительно более высокие значения сорбирующей емкости обнаружены для побуров участка Тура, где в горизонте В величина m достигала 0.9. Для района р. Котуй, где также распространены криоземы, коэффициент распределения оказался существенно ниже и варьировал от $0,38 \pm 0,10$ в верхних органогенных горизонтах до $0,44 \pm 0,10$ в горизонте BC. Промежуточное положение среди исследованных участков занимали палево-подзолистые почвы сформированные под пихтовыми древостоями правобережья р. Енисей (Зотино), для которых отмечен прирост значений m с глубиной от $0.50 \pm 0,07$ в горизонтах А до $0.66 \pm 0,08$ в горизонте BC. Коэффициенты десорбции органического вещества (b) снижаются с глубиной по профилю почвы и тесно коррелируют с содержанием почвенного органического углерода.

Полученные данные для нескольких контрастных участков демонстрируют высокую сорбционную емкость суглинистых почв, включая почвы криолитозоны. В контексте деградации мерзлоты при потеплении климата рост глубины деятельного слоя и вероятные

изменения минералогического состава почв предполагает рост сорбции растворенного органического вещества почвенных фильтрационных вод.

ЛИТЕРАТУРА:

- Старцев В.В., Дымов А.А., Прокушкин А.С. Почвы постпирогенных лиственничников средней сибирей: Морфология, физико-химические свойства и особенности почвенного органического вещества // Почвоведение. 2017. № 8. С. 912–925.
- Dolman, A. J., Maximov T. C., Moors E. J., Maximov A. P., Elbers J. A., et al. Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost // Biogeosciences, European Geosciences Union. 2004. V.1(2). P.133-146.
- Gentsch N., Mikutta R., Alves R.J.E., Barta J., Čapek P., Gittel A. et al. Storage and transformation of organic matter fractions in cryoturbated permafrost soils across the Siberian Arctic // Biogeosciences. 2015. V.12. P. 4525-4542.
- Hugelius G., Strauss J., Zubrzycki S., Harden J. W., Schuur E. A. G., et al. // Estimated stocks of circumpolar permafrost carbon with quantified uncertainty ranges and identified data gaps // Biogeosciences. 2014. V.11. P. 6573–6593.
- Jardine P.M., Weber N.L., McCarthy J.F. Mechanisms of dissolved organic carbon adsorption on soil // Soil Science Society of America Journal. 1989. V.53. P. 1378–1385.
- Kahle M., Kleber M., Jahn R. Retention of dissolved organic matter by phyllosilicate and soil clay fractions in relation to mineral properties // Organic Geochemistry. 2004. V.35. P. 269–276.
- Kaiser K., Kaupenjohann M., Zech W. Sorption of dissolved organic carbon in soils: effects of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature // Geoderma. 2001. V.99. P. 317–328.
- Kaiser K., Guggenberger G., Zech W. Sorption of DOM and DOM fractions to forest soils // Geoderma. 1996. V.74. P. 281–304.
- Kaiser K., Haumaier L., Zech W. The sorption of organic matter in soils as affected by the nature of soil carbon // Soil Science. 2000. V.165. P. 305–313.
- Kalbitz K., Schmerwitz J., Schwesig D. et al. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties // Geoderma. 2003. V.113. P. 273–291.
- Malcolm R.L. Geochemistry of stream fulvic and humic substances // Humic Substances in Soil, Sediment and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization. 1985. P. 181–209.
- McGuire A.D., Sitch S., Clein J. S., Dargaville R., Esser G., Foley J., et al. Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models // Global biogeochemical cycles. 2001. V.15. P. 183-206.
- Nodvin S.C., Driscoll C.T., Likens G.E. Simple partitioning of anions and dissolved organic carbon in a forest soil // Soil Sci. 1986. V.142. P. 27–35.
- Stevenson F.J. Geochemistry of soil humic substances // Humic Substances in Soil, Sediment and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization. 1985. P. 13–52.
- Schuur E. A. G., Bockheim James, Josep G. Canadell, Euskirchen Eugenie et al. Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle // BioScience. 2008. V58. No. 8. P. 701-714.
- Schuur E. A. G., McGuire A. D., Schädel C., Grosse G., Harden J. W., et al. Climate change and the permafrost carbon feedback // Nature. 2015. V.520. P. 171-179.
- Tarnocai C., Canadell J., Schuur E., Kuhry P., Mazhitova G. and Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochem. 2009. V.23. GB2023. doi:10.1029/2008GB003327.
- Qualls R., Haines B.L. Measuring adsorption isotherms using continuous, unsaturated flow through intact soil cores. Soil Science Society of America Journal. 1992. V.56. P. 456–460.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

О.В. ЧЕСТНЫХ, В.И. ГРАБОВСКИЙ, Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Вызванная антропогенной модификацией углеродного цикла биосферы проблема глобального потепления климата стимулировала научный интерес к оценке запасов углерода для крупных территориальных единиц: природных зон, стран, частей континентов. Поскольку в арктических, бореальных и умеренных экосистемах значительная часть углерода содержится в органическом веществе почвы, территориальные расчеты запасов почвенного углерода стала популярным направлением исследований.

Процедуру получения площадных оценок почвенного углерода можно подразделить на две части. Первая состоит в выборе топографической основы, используемой для получения значений площадей тех или иных контуров, в пределах которых предполагается наличие закономерно однородных запасов углерода почвы.

Вторая часть процедуры состоит в поиске средних значений запасов углерода почвы, соответствующих тем или иным контурам. Значительную известность получила база типовых почвенных профилей, приведенная в цифровом источнике (Stolbovoi, McCallum, 2002). Эта база включала 254 типовых профиля почвы и была использована для расчетов эталонных значений запасов углерода для типов почвы. Эти же почвенные профили предоставили информацию и для более поздней оценки запасов углерода почвы (Щепащенко и др., 2013). Тем не менее, приходится констатировать, что наиболее современные по времени расчеты запасов углерода почв России базируются на ограниченном наборе почвенных профилей.

Авторами настоящей работы ранее по материалам открытых публикаций была создана база данных «Почвенные характеристики Северной Евразии» (Честных, Замолодчиков, 2018). Эта база служила основой для расчетов запасов углерода и азота в почвах лесов и тундр России (Честных и др., 2004, Замолодчиков и др., 2011, Честных, Замолодчиков, 2017 и др.). К настоящему времени база расширена до 1700 почвенных профилей, усовершенствованы процедуры заполнения пропусков в структуре горизонтов и расчета интегральных показателей. Расчеты типовых значений углерода почвы выполнены на основе этой базы данных.

Важный компонент базы данных представлен расчетными процедурами, позволяющим осуществить переход от процентного содержания элементов и веществ к их запасам на единицу площади. Автоматизированное заполнение пропусков плотности горизонтов осуществлено на основе системы уравнений, описывающих вертикальные изменения плотности горизонтов с учетом типа почвы и содержания гумуса (Честных, Замолодчиков, 2004).

Цель настоящей работы состояла в оценке запасов углерода в почвах Европейско-Уральской части России в представлении по трем слоям почвенной толщи (0-30, 0-50, 0-100 см) с дифференциацией по лесным районам.

Были использованы следующие данные: 1. БД ГУЛФ 2008 – последняя база с представительством отдельных лесхозов. В ЦЭПЛ РАН в 2000-е годы в рамках проектов Минприроды РФ и Рослесхоза создавались слои лесхозов и лесных районов для статистического и пространственного анализа данных ГУЛФ; 2. Данные по почвенным разрезам с указанием координат. По ГУЛФ 2008 рассчитаны доли площадей лесных земель разных категорий как для покрытых лесной растительностью земель, так и для не покрытых (луга, пашни и т.д.). Методом «Пространственного соединения» из инструментария ArcGIS получены списки лесхозов, составляющих лесные районы. По этим спискам и долям площадей составлены доли земель различных категорий для лесных районов.

Для определения пространственной дифференциации средних значений все присутствовавшие в базе разрезы, расположенные в Европейско-Уральской части России, распределены по лесным районам через их координаты. Установлены принадлежность каждого разреза к лесному району, а по описаниям разрезов – к категории земель. Для каждого лесного района Европейско-Уральской части России получены доли вариантов наземного покрова (доминирующие породы для покрытых лесной растительностью земель и варианты непокрытых лесной растительностью земель). Исходя из этих долей и средних значений запасов углерода под основными лесообразующими породами получены средние значения углерода почв для лесных районов. Таким образом, средние показатели углерода почв рассчитывались взвешиванием данных по долям представленности данной категории земли в соответствующем лесном районе.

Настоящая работа базируется на результатах обработки базы данных лишь в отношении одного из почвенных элементов, а именно, углерода. Для пересчета запасов гумуса в углерод использован единый коэффициент 0.57. Оценка запаса по профилю включает как углерод органического вещества почвы в верхних горизонтах, которые могут быть отнесены к подстилке, так и в заторфованных горизонтах подзолисто-болотных почв. Таким образом, суммарная оценка для профиля включает запасы органического углерода подстилки, органогенных и минеральных горизонтов.

Суммарные запасы углерода в почвах лесных районов Европейско-Уральской части составили для глубины 0-30 см $12954,3 \cdot 10^6$ С т, для 0-50 – $16442,6 \cdot 10^6$ С т, для 0-100 см – $21636,7 \cdot 10^6$ С т. При общей площади земель лесного фонда $181,9 \cdot 10^6$ га. Максимальные запасы свойственны северо-таежному району, минимальные – Северо-Кавказскому горному

району и району степей, что отражает, с одной стороны, распределение площадей соответствующих выделов, с другой – может быть объяснено большим количеством заторфованных земель в северных районах. Оценены запасы углерода в почвах тундровой зоны, итоговые запасы для всей территории ЕУ части, включая тундру, составили для 0-100 см глубины $30055,1 \cdot 10^6$ С т.

Получены карты распределения запасов углерода для Европейско-Уральской части России в отношении разных глубин разрезов.

Итоговые данные несколько ниже полученных ранее авторами, поскольку была использована принципиально отличная пространственная группировка с получением взвешенных средних в зависимости от представленности лесообразующих пород.

Одним из интересных аспектов проведенной работы является то, что при нанесении точек разрезов на карту можно оценить представительность средних данных, и в дальнейшем оценить и дополнить данные именно тех районов, где имеется меньшее представительство по средним запасам.

**Исследование поддержано РНФ № 19-77-30015 "Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата".*

ЛИТЕРАТУРА:

- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // Лесоведение. 2004. № 4. С. 30–42.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение, 2004. № 8. С.937-944.
- Честных О.В. Замолодчиков Д.Г. Запасы органического углерода в почвах лесов России // Природные и антропогенные экосистемы: проблемы и решения. 2017, место издания БИБЛИО–ГЛОБУС г. Москва, ISBN 978-5-6040237-3-0. С. 19-60.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. БД «Почвенные характеристики Северной Евразии», свидетельство о гос.регистрации БД в Федеральной службе интеллектуальной собственности № 2018621164 от 17.05.2018 г.
- Щепашенко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123-132.
- Stolbovoi V., McCallum I., Land Resources of Russia (CD-ROM). IIASA & RAS. Laxenburg, Austria. 2002.

ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД ПОЧВ: НАСКОЛЬКО КОРРЕКТНА ОЦЕНКА ПО ЭТАЛОНАМ?

П.А. ШАРЫЙ¹, Л.С. ШАРАЯ²

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

² Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Запасы почвенного органического углерода (ПОУ) нередко оцениваются по «эталонам», то есть по значениям их запасов в данном типе почв, без учета климата, рельефа и других условий окружающей среды (Честных и др., 1999). Для протяженных местностей тепловой режим и растительность тундры и лесотундры закономерно меняются (Walter et al., 2005), а вместе с ними меняются и «эталонные» значения запасов ПОУ для данного типа почв (Щепащенко и др., 2013). Расхождение оценок запасов ПОУ в полярно-арктической зоне составляет 2–3 раза. Например, для Восточно-Европейской ландшафтной провинции одни авторы дают оценки запасов ПОУ 19.2–21.2 Пг (Орлов и др., 1996; Честных и др., 1999), другие дают 40.2–43.7 Пг (Kolchugina, Vinson, 1993; Рожков и др., 1997). В дальнейшем основанные на «эталонах» оценки входят в глобальные оценки запасов ПОУ (Tarnocai et al., 2009). Поэтому современные оценки запасов ПОУ можно рассматривать как предварительные.

В этой связи возникают естественные вопросы: учет климата и рельефа (дополнительно к типам почв) увеличивает или уменьшает оценку запасов ПОУ? Насколько велико это изменение? Здесь мы изучаем запасы ПОУ в тундре и лесотундре бассейна реки Усы (площадь участка исследования 11.8 тыс. кв. км), правого притока р. Печоры на северо-востоке Европейской России, где измерения запасов ПОУ проводились по проекту CarboNORTH (Hugelius et al., 2011). Данные о запасах ПОУ относятся к слою 0–1 м для минеральных почв и на всю глубину (до 4.3 м) для торфяников плюс 30 см под ними, так как эти 30 см известны как обогащенные углеродом. Методика измерений ПОУ описана в (Hugelius et al., 2011). Эти запасы ПОУ характеризуются как полные (Hugelius et al., 2011), поскольку концентрация ПОУ в минеральных почвах тундры падает с глубиной быстрее всех биомов мира, так что запасы ПОУ в слое 1–3 м составляют лишь 27% от запасов ПОУ в верхнем метре (Jobbágy, Jackson, 2000). Характеристики климата взяты из базы данных WorldClim (Hijmans et al., 2005), где они усреднены за 50 лет (1950–2000 гг.). Для описания рельефа использовались данные GMTED2010 (Danielson, Gesch, 2011). Все данные приводились с разрешением 300 м к целевой проекции. Объем выборки был 110 (Шарый и др., 2018).

Карта трех таксонов почв: 1 – органических (торфяников), 2 – минеральных маломощных автоморфных (мощность органогенного горизонта до 10 см), 3 – минеральных гидроморфных (мощность от 10 до 40 см) была подготовлена с использованием спутниковых изображений Landsat ETM+ (разрешения 15 м) и QuickBird (2.4 м) с помощью метода контролируемой классификации в программе ERDAS IMAGINE 9.0, как описано в (Hugelius et al., 2011). Дополнительно привлекались почвенная карта (М 1:1 млн), геокриологическая карта (М 1:2.5 млн), топографические карты, а при неясностях – полевые наблюдения в ~350 точках (Шарый и др., 2018). Для статистического анализа использовалась множественная регрессия; методы регрессии описаны в работе (Шарый, Пинский, 2013).

В результате получено уравнение регрессии, объяснявшее 84% дисперсии запасов ПОУ ($R^2 = 0.840$, $P < 10^{-6}$). Вошедшими в него величинами (предикторами) были таксоны почв, осадки июня и июля, высота и ротор, характеристика рельефа, описывающая расчлененность местности (Shary et al., 2002). Оценка запасов ПОУ по «эталонам» давала значение 32.0 кгС/м^2 , в то время как дополнительный учет климата и рельефа в регрессионной модели приводил к оценке запасов ПОУ 21.6 кгС/м^2 (Шарый и др., 2018). Таким образом, «эталонные» запасы завышены примерно в полтора раза (на 10.4 кгС/м^2). Построенная по регрессионной модели карта запасов ПОУ, а также карта таксонов почв представлены в работе (Шарый и др., 2018).

Это расхождение связано, в частности с тем, что данные о запасах ПОУ в точках наблюдения нехарактерны для всего региона. Действительно, средние по точкам наблюдения запасы ПОУ составляли 39.9 кгС/м^2 , но в регионе много (29.3% площади) маломощных минеральных автоморфных почв с низкими запасами ПОУ (в среднем 12.5 кгС/м^2), которые составляют 12.7% от суммарных запасов ПОУ. То же касается минеральных гидроморфных почв (50.3% площади) с невысокими запасами ПОУ (в среднем 20.3 кгС/м^2), которые составляют 32.0% от суммарных запасов ПОУ. Торфяники занимают 20.3% площади (со средним ПОУ 89.0 кгС/м^2), что составляет 55.3% от суммарных запасов ПОУ. Сбор образцов был в значительной степени связан с торфяными плато, которые, как показал наш анализ (Шарый и др., 2018), не столь характерны для региона, хотя и содержат все основные типы почв (Hugelius et al., 2011). Регрессионная модель улавливает эти закономерности, распространяя их на всю местность. Кроме того, учет климата и рельефа несколько меняет представление о корректных «эталонных» запасах ПОУ.

Именно, можно пересчитать «эталонные» запасы ПОУ так, чтобы они давали более корректную оценку запасов ПОУ, совпадающую с полученной по регрессионной модели. Для этого нужно брать следующие «эталонные» (Шарый и др., 2018): для торфяников 58.9 кгС/м^2

вместо 89.0 кгС/м², для автоморфных маломощных почв 9.3 кгС/м² вместо 12.5 кгС/м², для гидроморфных почв 13.7 кгС/м² вместо 20.3 кгС/м². Эти скорректированные «эталонные» дают для изучаемого региона в точности те же запасы ПОУ, что и регрессионная модель.

Однако, хотя для данного региона скорректированные «эталонные» описывают, в сущности, учет влияния климата, рельефа и выбора точек наблюдения, для другого региона они могут несколько отличаться, так как влияние климата и рельефа на запасы ПОУ в нем может быть другим. В то же время предложенный здесь подход с использованием множественной регрессии позволяет лучше оценивать запасы ПОУ, чем это делается по обычным «эталонам», использование которых, как показано выше, некорректно и способно давать завышенные оценки запасов ПОУ.

Поскольку использование «эталонных» входит в оценки запасов ПОУ для тундры и лесотундры России (Hugelius, Kuhry, 2009; Tarnocai et al., 2009), мы должны согласиться с замечанием (Davidson, Janssens, 2006), что сегодняшние оценки запасов ПОУ есть лишь начало будущих точных оценок.

ЛИТЕРАТУРА:

- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
- Рожков В.А., Вагнер В.В., Когут Б.М., Конюшков Д.Е., Шермет Б.В. Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России // Углерод в биогеоценозах. Докл. на XV ежегодных чтениях памяти акад. В.Н. Сукачева. М., 1997. С. 5-58.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В. Запасы органического углерода в почвах тундровых и лесотундровых экосистем России // Экология. 1999. № 6. С. 426-432.
- Шарый П.А., Шарая Л.С., Пастухов А.В., Каверин Д.А. Пространственное распределение органического углерода в почвах восточно-европейской тундры и лесотундры в зависимости от климата и рельефа // Известия РАН. Серия географическая. 2018. № 6. С. 1-10.
- Шарый П.А., Пинский Д.Л. Статистическая оценка связи пространственной изменчивости содержания органического углерода в серой лесной почве с плотностью, концентрацией металлов и рельефом // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1344-1356.
- Щепашенко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123-132.
- Danielson J.J., Gesch D.B. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010) // U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073, 2011. 26 p.
- Davidson E.A., Janssens I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change // Nature. 2006. V. 440. P. 165-173.
- Hugelius G., Kuhry P. Landscape partitioning and environmental gradient analyses of soil organic carbon in a permafrost environment // Global Biogeochemical Cycles. 2009. V. 23. P. GB3006.
- Hugelius G., Virtanen T., Kaverin D., Pastukhov A., Rivkin F., Marchenko S., Romanovsky V., Kuhry P. High-resolution mapping of ecosystem carbon storage and potential effects of permafrost thaw in periglacial terrain, European Russian Arctic // Journal of Geophysical Research. 2011. V. 116. P. G03024.
- Jobbágy E.G., Jackson R.B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation // Ecological Applications. 2000. V. 10. P. 423-436.
- Kolchugina T.P., Vinson T.S. Carbon balance of the continuous permafrost zone of Russia // Clim. Res. 1993. V. 3. P. 13-21.
- Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // Geoderma. 2002. V. 107. P. 1-32.
- Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon stocks in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochemical Cycles. 2009. V. 23. P. GB2023.
- Walker D.A., Raynolds M.K., Daniëls F.J.A., Einarsson E., Elvebakk A. et al. The circumpolar Arctic vegetation map // Journal of Vegetation Science. 2005. V. 16. P. 267-282.

СЕКЦИЯ 5. Роль растительности и почвенной биоты в формировании лесных почв



СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТИТЕЛЬНОМ ОПАДЕ И ОРГАНОГЕННОМ ГОРИЗОНТЕ ПОЧВ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ НА СЕВЕРНОМ ПРЕДЕЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Н.А. АРТЕМКИНА¹, М.А. ДАНИЛОВА², Н.В. ЛУКИНА²

¹ Институт проблем промышленной экологии Севера, ФИЦ Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Опад является важным, специфическим компонентом лесных экосистем. Разложение растительного опада один из основных процессов, регулирующих круговорот углерода и элементов питания и формирование органогенного горизонта почв бореальных лесов. На региональном уровне ведущую роль в этом процессе играет климат, на локальном уровне основное значение имеет качество опада и подстилки, а также микроклиматические условия. При исследовании параметров качества подстилки с точки зрения интенсивности процессов ее разложения основное внимание уделяется содержанию в ней азота, соотношениям C/N и лигнин/N (Berg, 2000). Однако, фракционный состав органического вещества растительного опада, в том числе содержание полифенолов, является не менее важным фактором, определяющим темпы разложения (Hättenschwiler, Vitousek, 2000).

Целью данного исследования является изучение закономерностей изменения концентраций вторичных метаболитов в подгоризонтах лесной подстилки. Объектами исследования послужили ельники кустарничково-зеленомошные, произрастающие в окрестностях оз. Умбозеро (Кольский п-ов; N67°29' E34°32'). Внутрибиогеоценотическое варьирование оценивали на основе сопоставления данных в различных элементарных биогеоареалах (ЭБГА) (Орлова, 2013).

Сравнение концентраций вторичных метаболитов и лигнина в многолетних листьях/хвое растений (потенциальном опаде) и в L, F, H подгоризонтах подстилки в различных ЭБГА показало, что содержание суммы фенольных соединений, а также конденсированных таннинов значительно снижается в органогенных подгоризонтах подстилки по сравнению с опадом, что объясняется интенсивными процессами вымывания и деструкции этих веществ. Происходит дальнейшее снижение концентраций фенольных соединений и таннинов вниз по профилю подстилки, с минимальными значениями в H-подгоризонте. Исключение составляет для фенольных соединений сфагновый ЭБГА, где их содержание практически не изменяется. По уровню содержания фенольных соединений в опаде можно предложить следующий ряд: багульниковый ЭБГА > березовый ЭБГА > кустарничково-зеленомошный ЭБГА > сфагновый ЭБГА. Для таннинов определяется другая

последовательность: сфагновый ЭБГА > березовый ЭБГА > багульниковый ЭБГА > кустарничково-зеленомошный ЭБГА.

По сравнению с опадом лигнин накапливается в органических подгоризонтах подстилки с максимумом содержания в F – подгоризонте (примерно 40% для всех ЭБГА), а в Н – подгоризонте происходит снижение концентрации лигнина.

Таким образом, выявлены разнонаправленные тренды изменения концентраций вторичных метаболитов и лигнина в подгоризонтах подстилки по сравнению с опадом для различных ЭБГА, что говорит о зависимости химического состава лесной подстилки от вида растительного покрова.

** Работа выполнена в рамках темы НИР № 0226-2018-0111.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Орлова М.А. Элементарная единица лесного биогеоценологического покрова для оценки экосистемных функций лесов // Труды Карельского научного центра. Серия "Экологические исследования". 2013. № 6. с. 126-132.
Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils // Forest Ecology and Management. 2000. V. 133. P. 13-22.
Hättenschwiler S., Vitousek P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling // Trends in Ecology and Evolution. 2000. V.15. № 6. P. 238–243.

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА Al-Fe-ГУМУСОВЫХ ПОДЗОЛОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПОД ЛЕСНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ В ЯМАЛЬСКОЙ ЛЕСОТУНДРЕ

В.В. ВАЛДАЙСКИХ, О.А. НЕКРАСОВА, Т.А. РАДЧЕНКО

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Ямальская лесотундра, в частности, в окрестностях г. Лабытнанги, представляет собой удобный объект для выявления вклада факторов-почвообразователей в свойства почв в условиях субарктики. Эта территория занимает экотонное положение между природными зонами тундры и тайги, в результате чего для наблюдений можно найти полноценные участки тундровых и таежных ландшафтов; здесь проявляется черта, как континентального климата Западной Сибири, так и океанического; наряду с равнинными участками и депрессиями рельефа можно наблюдать склоновые поверхности, кроме того достаточно велико разнообразие почвообразующих пород, в частности – по гранулометрическому и минеральному составу.

Зональная растительность – характерное для лесотундры сочетание ерниковых мохово-лишайниковых (лишайниково-моховых) и травяно-моховых тундр и болот, часто с единичными лиственницами, и лиственничных, еловых, елово-лиственничных ерниковых редколесий. Тундровая растительность приурочена к равнинным участкам и пологим

склонам, редколесья и заросли ерника с ивами – к западинам, долинам ручьев и рек. Лишайниковые тундры характерны для малоснежных в зимний период дренированных участков (Radchenko et al, 2018).

Разреженные древесные сообщества встречаются практически во всех элементах ландшафта, тяготея к долинам рек. В наиболее дренируемых ландшафтах, приуроченных к высоким коренным склонам речных долин на песках, формируются сообщества, близкие к северотаежным. Чаще всего они представлены лиственничным багульниково-ерниковым кустарничково-мохово-лишайниковым редколесьем, а в случае утяжеления гранулометрического состава – преимущественно лиственнично-еловым ерниковым голубично-лишайниково-моховым редколесьем. Древостой слагают *Picea obovata* и *Larix sibirica* (высота стволов до 12 м при диаметре 10-25 см) с единичной примесью кустовой *Betula tortuosa* высотой до 8 м. Подлесок формируют *Betula nana* и *Juniperus communis*. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *V. Myrtillus*, *Empetrum hermaphroditum*. Травы представлены *Carex globularis*, *Chamerion angustifolium*, *Solidago lapponica*. Мохово-лишайниковый ярус также неоднородный, преобладают *Hylocomium splendens*, *Polytrichum strictum*, *P. jensenii*, *P. hyperboreum*, *Dicranum fuscescens* и др. Лишайники формируют небольшие пятна, обильны *Cladonia gracilis*, *Cetraria laevigata*, *Stereocaulon glareosum*, *Cladonia rangiferina*, *C. cornuta*, *C. deformis*, *C. cenotea*. Общие запасы фитомассы (без учета деревьев) составляют 356.9 ± 10.2 г/м² в пересчете на воздушно-сухую массу.

Легкий гранулометрический состав почв, мезорельеф, благоприятствующий разгрузке грунтовых вод, создают условия для формирования почв с ярко выраженной элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля и глубоким залеганием многолетнемерзлого горизонта или даже его отсутствием. Сформированные почвы – подзолы криогенные Al-Fe-гумусовые иллювиально-железистые глубокоглееватые (Albic Gleyic Podzol), иногда – оторфованные и торфянистые, для которых характерны четкая дифференциация на горизонты, значительная степень оподзоленности, отсутствие переувлажненности, характеризуются относительно хорошо сформированной лесной подстилкой мощностью 2-4 см, выраженным дерновым горизонтом (до 2-3 см), мощным сплошным подзолистым горизонтом (4-5 см, иногда до 8-10 см), наличием иллювиально-железистого горизонта яркой окраски (10-15, иногда – до 40 см); глубоким расположением оглеенного слоя, не образующего сплошной горизонт. Слабо прослеживаются или вовсе не прослеживаются следы криотурбации почвенного профиля, что позволяет данным почвам длительно развиваться по подзолистому типу почвообразования – с одной стороны, и создает условия

для нормального развития корневой системы древесных пород – с другой (активные криотурбационные процессы в интенсивно промерзающих почвах приводят к нарушению целостности корней молодых деревьев, что может лимитировать распространение древесных видов – Моисеев и др., 2010).

Профильное распределение фракций гранулометрического состава имеет выраженный элювиально-иллювиальный характер: содержание фракции физической глины в гор.А₁-А₂-В_{hf1}-В_{hf2} изменяется в следующей последовательности (%): 10.2-6.7-28.0-22.4, составляя в почвообразующей породе 8.1%.

Более быстрое стекание влаги в рассматриваемых хорошо дренируемых почвах усиливает изначально более высокую теплопроводность твердой фазы песчаных почв по сравнению с глинистыми, в результате чего тепловой режим песчаных хорошо дренируемых почв оказывается более контрастным, нежели глинистых. Легкие песчаные почвы летом быстрее прогреваются, чем тяжелые глинистые, что в изучаемых условиях лесотундры криолитозоны приводит к более глубокому летнему протаиванию мерзлоты, или же смыкание сезонно-талого слоя и многолетней мерзлоты вовсе отсутствует.

Сформированные почвы сильнокислые – pH (KCl) изменяется вниз по профилю от 3.5 до 4.6, характеризуются низкими значениями доступных растениям форм К₂О и Р₂О₅, составляющими соответственно 1. 4-7.8 и 0.01-0.3 мг/100г почвы в минеральных горизонтах.

Содержание органического вещества в изучаемых почвах крайне невелико. Если в горизонте А₀ содержание органического углерода составляет 62.59±12.33%, в гор.А₁ – 1.88±0.81%, то уже на глубине 5-13 см в гор.А₂ оно уменьшается до 0.5% и менее, а на глубине 50 см и глубже не превышает сотых долей процента; запасы органического вещества в слое 0-50 см составляют в среднем всего 15.7 т/га, что, на порядок ниже, чем, например, в криоземах глеевых (183.1 т/га) и на два порядка – чем в торфяных почвах (1615.6 т/га). Во фракционном составе фульвокислоты (ФК) являются доминирующей группой гумусовых веществ, в некоторых горизонтах их содержание достигает 60%, соотношении С_{ГК}:С_{ФК} ниже 0.5, за исключением органогенного горизонта. Фракция наиболее подвижных бурых ГК1 превалирует над другими фракциями гуминовых кислот, показывая самые высокие значения в верхней части почвенной толщи. Фракция гуминовых кислот, связанная с глинистыми частицами (ГК3), имеет среднее содержание 37% от суммарного содержания ГК. Фракция черных гуминовых кислот (ГК2), связанная с кальцием, присутствует в наименьшем количестве. Среди фульвокислот преобладают связанная с бурыми гуминовыми кислотами (ФК1) и агрессивная (ФК1а) фракции.

Таким образом, в экстремальных климатических условиях субарктики Западной Сибири со сплошным распространением многолетней мерзлоты, в хорошо дренируемых ландшафтах под лесными сообществами сформированы Al-Fe-гумусовые подзолы, близкие по своим морфологическим и химико-физическим показателям к северотаежным аналогам.

**Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания № 6.7696.2017/8.9. Выражаем искреннюю благодарность коллективу Арктического стационара Института экологии растений и животных УрО РАН за помощь в проведении полевых исследований.*

ЛИТЕРАТУРА:

Radchenko T.A., Valdayskikh V.V., Morozova L.M., Nekrasova O.A. The Indicative Potential of the Forest-Tundra Landscape Component // KnE Life Science: The Fourth International Scientific Conference Ecology and Geography of Plants and Plant Communities. 16-19 April 2019. Yekaterinburg, Russia. P. 168-174.
Моисеев П.А, Бартыш А.А, Нагимов З.Я. Изменения климата и динамика древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. 2010. № 6. С. 432-443.

ВЛИЯНИЕ МОРФО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ НА АККУМУЛЯЦИЮ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

А.П. ГЕРАСЬКИНА, А.И. КУЗНЕЦОВА, Н.Е. ШЕВЧЕНКО, Е.В. ТИХОНОВА,
А.В. ГОРНОВ, Д.Н. ТЕБЕНЬКОВА, Н.В. ЛУКИНА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

В современном почвоведении и экологии до сих пор нет убедительных оценок влияния деятельности таких крупных сапрофагов, как дождевые черви, на динамику углерода в почвах. Ряд авторов утверждает, что аккумуляция углерода снижается в результате деятельности дождевых червей (Alban, Berry, 1994; Burtelow et al., 1998; Bohlen et al., 2004), в то же время есть доказательства того, что дождевые черви способствуют аккумуляции углерода в почвах (Pulleman et al., 2005; Novara et al., 2015). Вероятно, такие противоположные заключения связаны с тем, что в большинстве работ комплекс дождевых червей рассматривают как единое целое и анализируется суммарная биомасса всех видов дождевых червей, при этом не учитываются принципиальные различия отдельных морфо-функциональных типов и групп, среди которых выделяют первичных гумусообразователей – виды, питающиеся на поверхности (подстилочные, почвенно-подстилочные и норные) и вторичных гумусопотребителей – виды, питающиеся в почве (собственно-почвенные) (Перель, 1979). В связи с этим возникает вопрос: различается ли влияние разных групп дождевых червей на аккумуляцию углерода в почвах и каковы эти влияния?

Полевые работы проведены в весенне-летние периоды 2016 и 2018 гг. В трех географических регионах: Брянская область (Брянское полесье), Московская область (Москворецко-Окская равнина, Валуевский лесопарк) и Северо-Западный Кавказ (Краснодарский край, Апшеронское лесничество и Республика Адыгея, Кавказский биосферный заповедник) выделены три стадии восстановления хвойно-широколиственного леса: ранняя, средняя и терминальная (поздняя). Для каждой стадии подобраны по три пробные площади 50x50 м, где выполнены геоботанические, почвенные описания и проведены учеты макросaproфагов (Гераськина, 2018; Лукина и др. 2018; Кузнецова и др., 2019; Шевченко и др., 2019). Почвенно-зоологические исследования проведены по стандартной методике: на каждой пробной площади разных стадий сукцессии взяты от 10 (Брянское полесье, Москворецко-Окская равнина) до 16 почвенных проб (Северо-Западный Кавказ) размером 25x25 см до глубины встречаемости видов (Гиляров, 1975). Дождевые черви зафиксированы в 95% спирте. Многоножки, личинки насекомых и моллюски зафиксированы в 70% спирте. Видовая идентификация дождевых червей проведена по определителю Т.С. Всеволодовой-Перель (1997). Идентификация других представителей макрофауны выполнена до семейств и родов с помощью определителей (Гиляров, 1964; Локшина, 1969; Плавильщиков, 1994; Лихарев, Раммельмейер, 2013).

В ходе исследований установлено, что от 80 до 90% общей биомассы макросaproфагов составляли дождевые черви, поэтому в данной работе проводится только оценка роли этой группы беспозвоночных в аккумуляции углерода в почвах.

Среди дождевых червей выделены группы с высокой биомассой: почвенно-подстилочные, собственно почвенные и норные виды.

Увеличение биомассы **почвенно-подстилочных** видов в 2-9 раз в Москворецко-Окской равнине сопряжено со снижением запасов подстилки и, соответственно, углерода в ней и, напротив, с накоплением углерода в верхнем гумусовом горизонте в ходе сукцессии в этих лесах. Накопление подстилки в лесах Брянского Полесья на всех стадиях сукцессии можно объяснить значительно менее выраженной функциональной ролью почвенно-подстилочных червей.

Увеличение биомассы **собственно-почвенных** видов в лесах Москворецко-Окской равнины (в 2 раза) и Северо-западного Кавказа (в 1,5 раза) по сравнению с лесами Брянского Полесья сопряжено со снижением запасов углерода в гумусовом и минеральном горизонтах почвы. Напротив, отсутствие группы собственно почвенных видов в лесах Брянского полесья объясняет выраженные тенденции накопления углерода в минеральном горизонте.

На основе этого можно предположить, что почвенно-подстилочные виды, как первичные гумусообразователи, способствуют аккумуляции углерода в гумусовом горизонте (при этом снижая его запасы в горизонте подстилке в результате ее переработки), а собственно почвенные виды, снижают содержание углерода в минеральном горизонте в ходе потребления питательного субстрата из почвы. Т.е. в верхнем гумусовом горизонте преобладают процессы гумификации над процессами потребления энергетически важных углеродных субстратов, а в минеральном горизонте почве наоборот.

Роль группы **норных червей** убедительно показана на терминальных стадиях сукцессий в лесах Москворецко-Окской равнины и Северо-Западного Кавказа. Увеличение биомассы норных червей (в 4-8 раз) приводит к снижению содержания углерода в горизонте подстилки и повышению запасов углерода в глубоких минеральных горизонтах, поскольку в ходе глубоких вертикальных миграций норные черви перемещают растительные остатки с поверхности почвы на большие глубины (до 1-2 метров).

Таким образом, почвенно-подстилочные и норные виды снижают содержание углерода в горизонте подстилки, при этом почвенно-подстилочные способствуют аккумуляции углерода в гумусовом горизонте, а норные виды – в глубоких минеральных горизонтах. Собственно почвенные виды снижают содержание углерода и в гумусовом, и в минеральных горизонтах почвы.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10284).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Всеволодова-Перель Т.С. Дождевые черви фауны России. Кадастр и определитель. М.: Наука, 1997. 101 с.
- Гиляров М.С. Определитель обитающих в почве личинок насекомых. М.: Наука, 1964. 920 с.
- Гиляров М.С. Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. 304 с.
- Гераськина А.П. Преобразования комплекса дождевых червей в ходе послерубочных сукцессий в лесах Северо-Западного Кавказа // Вопросы лесной науки. 2018. № 1. С. 1-14.
- Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Горнов А.В., Горнова М.В., Смирнов В.Э., Гераськина А.П., Шевченко Н.Е., Тебенькова Д.Н., Чумаченко С.И. Аккумуляция углерода в песчаных и суглинистых почвах равнинных хвойно-широколиственных лесов в ходе послерубочных восстановительных сукцессий // Почвоведение. 2019. № 7. С. 803-816.
- Лихарев И.М., Раммельмейер Е.С. Наземные моллюски фауны СССР // Определители по фауне СССР. Вып.43. М.: Рипол Классик, 2013. 511 с.
- Локшина И.Е. Определитель двупарноногих многоножек (Diplopoda) равнинной части Европейской территории СССР. М.: Наука, 1969. 78 с.
- Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Горнов А.В., Кузнецова А.И., Гераськина А.П., Смирнов В.Э., Горнова М.В., Ручинская Е.В., Анищенко Л.Н., Тебенькова Д.Н., Данилова М.А., Бахмет О.Н., Крышень А.М., Князева С.В., Шашков М.П., Быхолец С.С., Чертов О.Г., Шанин В.Н. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / под ред. Член-корр. Н.В. Лукиной. М.: КМК, 2018. 232 с.
- Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. М.: Наука, 1979. 272 с.
- Плавильщиков Н.Н. Определитель насекомых: краткий определитель наиболее распространенных насекомых европейской части России. М.: Топикал, 1994. 544 с.
- Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Гераськина А.П., Горнов А.В., Грабенко Е.А., Тихонова Е.В., Лукина Н.В. Сукцессионная динамика растительности и запасы почвенного углерода в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2019. № 3. С. 163-176.

- Alban D.H., Berry E.C. Effects of earthworm invasion on morphology, carbon, and nitrogen of a forest soil // *Appl. Soil Ecol.* 1994. V. 1. P. 243-249.
- Bohlen P.J., Pelletier D.M., Groffman P.M., Fahey T.J., Fisk M.C. Influence of earthworm invasion on redistribution and retention of soil carbon and nitrogen in northern temperate forests // *Ecosystems.* 2004. V. 7. 13-27.
- Burlow A.E., Bohlen P.J., Groffman P.M. Influence of exotic earthworm invasion on soil organic matter, microbial biomass and denitrification potential in forest soils of the northeastern United States // *Appl. Soil Ecol.* 1998. V. 9. P. 197-202.
- Novara A., Rühl J., La Mantia, T., Gristina L., La Bella, S., Tuttolomondo T. Litter contribution to soil organic carbon in the processes of agriculture abandonment // *Solid Earth.* 2015. V. 6 (2). P. 425-432.
- Pulleman M.M., Six J., Uyl A., Marinissen J.C.Y., Jongmans A.G.: Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils // *Appl. Soil Ecol.* 2005. V. 29. P. 1-15.

СТРУКТУРА МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ И ПОЧВ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

А.В. ГОЛОВЧЕНКО¹, Т.В. ГЛУХОВА²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лесоведения Российской академии наук, Московская обл.

Микробные сообщества лесоболотных экосистем изучались преимущественно в сфагновых мхах, их очёсах и торфянистых горизонтах, что закономерно, так как сфагновые мхи – основные торфообразователи болот. Но, кроме мхов, в этих экосистемах растут уникальные по своим свойствам кустарнички и травянистые растения, приспособленные к выживанию в олиготрофных условиях. Сведения о микробных сообществах этих растений немногочисленны и касаются в основном определения таксономического состава бактерий (Albino et al., 2006; Dake et al., 2007; Stepniewska et al., 2017), дрожжей (Качалкин, 2010), грибов (Филиппова, 2015). Показатели микробного обилия получены преимущественно методом посева (Thormann et al., 2004; Качалкин, 2010), незаменимым для определения относительного обилия и таксономической принадлежности, выделяемых на средах микроорганизмов, но не дающим представления о микробном пуле. В данной работе с помощью метода прямого счёта охарактеризована структура микробных сообществ в микролокусах, связанных с сосудистыми растениями лесных болот.

Исследования проводили на постоянной пробной площади Западновинского лесоболотного стационара ФГБУН Института лесоведения РАН в Тверской области (Вомперский и др., 1988). Анализируемый участок представлен сосняком кустарничково-пушицево-сфагновым на олиготрофной остаточно-эутрофной торфяной почве. В июне 2017 года были отобраны образцы растений: подбела (*Andromeda polifolia* L.), багульника (*Ledum palustre* L.), голубики (*Vaccinium uliginosum* L.), черники (*Vaccinium myrtillus* L.), брусники

(*Vaccinium vitis-idaea* L.), клюквы (*Vaccinium oxycoccus* L.), шейхцерии (*Scheuchzeria palustris* L.), пушицы (*Eriophorum vaginatum* L.), осоки черной (*Carex nigra* (L.) Reichard), росянки круглолистной (*Drosera rotundifolia* L.). Анализировали микролокусы: филлосферу (листья и стебли растений), ризоплану (поверхность отмытых корней растений) и почву под растениями. Растения (по 5-10 экземпляров каждого) и почву под ними отбирали в четырех точках, удаленных друг от друга на расстоянии 50-100 м. Для каждого органа растения делали средний образец из растений одного вида. Средний почвенный образец получали путём смешивания образцов, отобранных на 4-х площадках.

Численность микроорганизмов в образцах определяли прямым методом с использованием люминесцентной микроскопии (Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991). Для учета бактерий препараты окрашивали раствором акридина оранжевого, для учета спор и мицелия грибов использовали калькофлуор белый.

На исследуемых растениях удалось обнаружить грибы, дрожжеподобные клетки, бактерии. Грибы были представлены как мицелием, так и спорами. Двухфакторный дисперсионный анализ выявил достоверное влияние на численность микроорганизмов как вида растения, так и микролокуса, связанного с растением (филлосфера, ризоплана, почва).

Микробная биомасса в филлосфере и ризоплане растений варьировала от 0.2 до 1.6 мг/г, в почве – от 0.4 до 2.6 мг/г. Почва под растениями оказалась субстратом, в котором значения микробной биомассы достигают максимальных значений для всех анализируемых растений. На листьях и стеблях в структуре микробной биомассы оказались высокими доли бактерий, спор грибов и дрожжеподобных клеток (до 95%), на корнях растений и в почве доминировал грибной мицелий.

Максимальные показатели обилия микроорганизмов во всех микролокусах выявлены для осоки – представителя травянистых растений и для подбела – представителя кустарничков. Известно, что наличие особой ткани (аэренхимы), свойственной осокам, способствует поступлению кислорода из неё, что приводит к более интенсивному окислению метана (Saarnio et al., 2004; Мигловец и др., 2014). Дополнительный приток кислорода благотворно влияет, как на бактерии, так и на грибы. Подбел не имеет физиологической особенности, заключающейся в повышенной выработке эфирных масел на поверхностях листьев и стеблей, что благоприятно сказывается на численности микроорганизмов в его филлосфере. Высокие значения показателей обилия в ризоплане и в почве под этим растением могут быть обусловлены наличием эндомикоризы, способствующей улучшению водно-минерального питания и защите корневых систем от фитопатогенных микроорганизмов. Следует отметить, что наличие эндомикоризы является особенностью

большинства представителей семейства Вересковых. У анализируемых нами представителей этого семейства – багульник, брусника, клюква, черника, голубика – также были выявлены максимальные значения показателей обилия микроорганизмов в микролокусах, связанных с корнями растений (ризоплане и почве).

Среди анализируемых растений росянка оказалась растением, которое характеризовалось низкими показателями обилия микроорганизмов. Известно, что в листьях и корнях этого растения обнаружено соединение класса нафтохинонов – плюмбагин, который обладает антимуtagenным и антиоксидантным действием на дрожжи, грибы и отдельные группы бактерий (Kumar et al., 2013). Низкие значения микробной биомассы во всех микролокусах росянки, очевидно, обусловлены избирательностью действия антимикробных веществ на отдельные группы микроорганизмов.

На поверхности сосудистых растений микроорганизмы существуют в основном как копитрофы, т.е. за счет потребления легкодоступных соединений углерода. Набор этих легкодоступных соединений у сосудистых растений и у мхов различен. У мхов он смещён сторону органических кислот, значительная часть которых представлена рядом ароматических соединений (Качалкин, 2010). Остатки сосудистых растений, попадая в сфагновую дернину, начинают разлагаться с различной скоростью. Разложение растительного вещества в лесоболотных экосистемах определяется видом растения, фракцией и химическим составом самого растения. Скорость деструкции уменьшается в ряду: зеленые листья трав и кустарничков (50–86%), корни осок и разнотравья (30–40%), ветошь и опавшие листья трав и кустарничков (20–40%), корни кустарничков (20–40%), сфагновые мхи (7–15% потери массы за год) (Косых и др., 2010). Бактерии гидролитического комплекса и дрожжи принимают активное участие в разложении растительного опада на начальных стадиях. На дальнейших этапах сукцессии главная роль принадлежит мицелиальным грибам с высокой гидролитической активностью, а другие микроорганизмы функционируют как микрофлора рассеяния за счет роста на вторичных продуктах метаболизма грибов (Функционирование микробных комплексов верховых торфяников – анализ причин медленной деструкции торфа, 2013).

ЛИТЕРАТУРА:

- Вомперский С.Э., Сирин А.А., Глухов А.И. Формирование и режим стока при гидроресомелиорации. М.: Наука, 1988. 168 с.
- Методы почвенной биохимии и микробиологии. М.: Изд-во Московского университета, 1991. 304 с.
- Качалкин А.В. Дрожжевые сообщества сфагновых мхов. Автореферат. дис. ... канд. биол. наук. Москва. 2010. 24 с.
- Косых Н.П., Мироньчева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // Теоретические проблемы болотоведения и торфоведения. 2009. Выпуск 3(81). С. 63–68.
- Мигловец М.Н., Загирова С.В., Михайлов О.А. Эмиссия метана в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 1. С. 93–98.

- Филиппова Н.В. К изучению сообществ грибов верховых болот таежной зоны Западной Сибири: 2. Микромиты на опаде болотных растений // Микология и Фитопатология. 2015. Т. 49. Вып. 3. С. 164–172.
- Функционирование микробных комплексов верховых торфяников – анализ причин медленной деструкции торфа. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 128 с.
- Albino U., Saridakis D.P., Ferreira M.C., Hungria M., Vinuesa P., Andrade G. High diversity of diazotrophic bacteria associated with the carnivorous plant *Drosera villosa* var. *villosa* growing in oligotrophic habitats in Brazil // *Plant Soil*. 2006. V. 287. P.199–207.
- Dake XU, Xiuying XIA, Na XU, Lijia AN. Isolation and identification of a novel endophytic bacterial strain with antifungal activity from the wild blueberry *Vaccinium uliginosum* // *Annals of Microbiology*. 2007. V. 57. № 4. P. 673–676.
- Kumar S., Gautam S., Sharma A. Antimutagenic and antioxidant properties of plumbagin and other naphthoquinones // *Mutation Research / Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2013. V. 755. № 1. P. 30–41.
- Saarnio S., Wittenmayer L., Merbach W. Rhizospheric exudation of *Eriophorum vaginatum* L.: Potential link to methanogenesis // *Plant Soil*. 2004. V. 267. P. 343–355.
- Stepniewska Z., Goraj W., Kuźniar A., Łopacka N., Małyszka M. Enrichment culture and identification of endophytic methanotrophs isolated from peatland plants // *Folia Microbiol.* 2017. V. 62. P. 381–391.
- Thormann M.N., Bayley S.E., Currah R.S. Microcosm tests of the effects of temperature and microbial species number on the decomposition of *Carex aquatilis* and *Sphagnum fuscum* litter from southern boreal peatlands // *Can. J. Microbiol.* 2004. V. 50. P. 793–802.

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОД ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ КУЛЬТУРАМИ КЕДРОВЫХ СОСЕН В ДВУХ МЕСТАХ ТЕСТИРОВАНИЯ

И.Д. ГРОДНИЦКАЯ, Г.И. АНТОНОВ, О.Э. КОНДАКОВА, Г.В. КУЗНЕЦОВА

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

Географические культуры, созданные для изучения географической изменчивости наследственных свойств видов древесных растений, являются уникальными объектами для разносторонних исследований. Влияние условий среды (климата, почвы и пр. факторов) в местах выращивания географических культур, позволяют выявить эволюционно-географические закономерности формирования биогеоценозов, локализацию популяций (климатипов). Ряд признаков и свойств климатипов сохраняется при разведении их в других лесорастительных условиях (Ирошников, 1977), в то же время новая географическая среда района выращивания влияет на рост и развитие растений (Гродницкая и др., 2016).

В географических культурах кедровых сосен (*Pinus sibirica* Du Tour, *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), созданных в двух местах тестирования (Красноярский и Хабаровский край) для изучения адаптационных возможностей хвойных (Кузнецова, 2010), мало изучено влияние их межвидовой генотипической изменчивости на физико-химические свойства, биохимическую активность почвы, состав и структуру почвенных микробных сообществ. В связи с чем, целью исследований было проведение сравнения влияния географических культур

кедровых сосен на химические, биологические показатели, а также на структуру и состав прокариотных микробиомов темно-серой и бурой подзолистой почв в ризосфере и между рядами посадок

Почву (ризосферную и валовую) под посадками кедровых сосен исследовали с помощью общепринятых физико-химических, биохимических методов, респираторные показатели (микробную биомассу и базальное дыхание – методом СИД, качественный состав прокариот – с помощью метагеномного анализа (NGS – метагеномный сиквенс).

Ранее было показано, что кедровые сосны по-разному оказывали влияние на химический состав почв в пунктах испытания (Макарикова и др. 2014). Нами установлено, что содержание гумуса, валового и подвижного азота было выше под *Pinus sibirica*, чем под *Pinus koraiensis*. Однако процессы минерализации органических веществ в почве под климатипами сосны корейской были интенсивнее, чем под сосной сибирской, о чем свидетельствуют более узкие соотношения C:N и меньшее содержание негидролизующего азота. Генотипическая гетерогенность кедровых сосен влияла на формирование и активность микробиоценозов, особенно отчетливо проявляясь в зоне ризосферы, чем в валовой почве. Дыхательная и ферментативная активности валовой и ризосферной почвы под обоими видами кедровых сосен указывали на повышенную биогенность ризосферной зоны у всех климатипов, как в серой, так и бурой подзолистой почвах. Таксономический состав микробных сообществ различался в зависимости от почвы. Основными типами бактерий в изучаемых почвах являлись представители *Acidobacteria*, *Proteobacteria* и *Actinobacteria*, совместно составляющие в каждой почве около 75% от общего числа типоспецифичных последовательностей генов 16S рРНК. При этом прокариотное разнообразие бурой подзолистой почвы представлено большим количеством классов. Отмечено, что размеры и таксономическое богатство микробных сообществ тесно связано с количеством и качеством органического вещества, содержанием $C_{орг}$ и N. На структуру почвенных микробиомов меньшее влияние оказывали межвидовая гетерогенность кедровых сосен и влияние их корней, чем тип почвы.

ЛИТЕРАТУРА:

- Гродницкая И.Д., Кузнецова Г.В., Антонов Г.И., Кондакова О.Э. Влияние географических культур кедровых сосен (*Pinus sibirica* Du Tour и *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) на биологические свойства почвы на юге Красноярского края // Лесоведение. 2016. № 2. С. 135–147.
- Ирошников А.И. Географические культуры хвойных в Южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. С. 104–110.
- Кузнецова Г.В. Рост, состояние и развитие кедровых сосен в географических культурах на юге Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27. № 1–2. С. 102–107.
- Макарикова Р.П., Наумова Н.Б., Кузнецова Г.В. Влияние видов и климатипов кедровых сосен на химические свойства почвы в длительном полевом опыте // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Проблемы устойчивого управления лесами Сибири и Дальнего Востока». Хабаровск, 2014. С. 270-273.

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ПРИДОРОЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.М. ДАВЫДЕНКО, Н.В. ИВАНИСОВА, Л.В. КУРИНСКАЯ

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО
Донской ГАУ, г. Новочеркасск, Россия

Природно–антропогенный комплекс, представленный полотном автодороги, прикуветной частью и сопредельными ландшафтами представляет собой единую систему, одним из главных компонентов которой является почва, обеспечивающая жизнедеятельность, стабильность и биоразнообразие. Под воздействием движения автотранспорта трансформируются все компоненты придорожного ландшафта (Маслова И.Я., 2008). В частности, негативным эффектом от движения автотранспорта являются выхлопные газы, пыль, попадание в окружающую среду антигололедных смесей и тяжелые металлы. Почва аккумулирует в себе большую часть продуктов антропогенной нагрузки, вследствие чего меняются ее физические, химические показатели. Основным негативным эффектом придорожных территорий является техногенное засоление причиной которого служит применение натрий- и хлорсодержащих реагентов, входящих в состав противогололедной соляно-песчаной смеси (Хомяков и др., 2004).

Придорожные защитные насаждения на территории Ростовской области вдоль автодорог федерального и регионального назначения представлены 4 - 6 рядными полосами в составе которых произрастают следующие виды: *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus americana*, *Acer negundo*, *Quercus robur*, *Ulmus pumila*, *Cotinus coggygia*, *Prunus spinosa*.

Объектом исследований являлись почвы придорожных ландшафтов. Почвенные образцы отбирались из верхнего горизонта (0 - 20 см) непосредственно возле полотна автодороги, перед защитными насаждениями, в насаждениях и за ними. В рамках исследования определялось содержание CO_2 , HCO_3^- , Cl^- , Mg^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ (по методике МУ ЦИНАО).

Почвы придорожных ландшафтов представлены черноземами обыкновенными среднесуглинистыми, pH 7,6 - 7,9, содержание гумуса 2,66% до 8%.

Углекислота в почвенном покрове в основном образуется в результате воздействия макро- и микроорганизмов на органическое вещество почвы. Также источником CO_2 в почве могут являться корни высших растений, приток с газами из более глубоких слоев почвы

(Базилевич Н. И., 1965). В результате исследования ни в одной почвенной пробе углекислота не обнаружена. Это может свидетельствовать о слабо развитой биоте и угнетенной корневой системе растений на контрольных участках. Возможно проведение дополнительных исследований по выявлению CO_2 в более глубоких слоях почвенного профиля.

Важным диагностическим признаком почв является определение содержания свободных карбонатов. Их присутствие в почве способствует подщелачиванию, а превышение допустимых концентраций препятствует развитию кислотности, что оказывает важное влияние на подвижность многих веществ в почве и на агроэкологические особенности почв. (СанПиН. 42-128-4433-87)

Основанием для определения содержания HCO_3^- в почвенных пробах явился показатель $\text{pH} > 7$. Установлено, что содержание карбонатов в почвенном растворе увеличивается пропорционально расстоянию от полотна автодороги.

Нормальному поглощению воды и питательных веществ растениями препятствует избыточное содержание хлора в почве. Хлор обладает хорошей способностью как к вертикальной, так и к горизонтальной миграции. Содержание $\text{Cl}^- > 0,005\%$ в почве является предельно допустимой концентрацией. Установлено, что общее содержание хлора в почвенных образцах прикюветной части автодороги больше, чем в пробах, которые располагаются за лесополосами на 17%.

Магний является ценным микроэлементом и превышение его концентраций наблюдается крайне редко. В аридных зонах содержание Mg особенно ценно, т.к. он повышает устойчивость биоценоза к засухе. В нашем исследовании установлено содержание магния 1 - 3 мг/100 г почвы, что характеризуется как очень низкое.

В техногенных условиях содержание сульфатов в почве объясняется попаданием в атмосферу серной кислоты. Она образуется в результате сгорания серосодержащего топлива. При поступлении серы в придорожные биоценозы она может образовать нерастворимые соединения в результате адсорбции, что ограничивает ее дальнейшую миграцию. Т.к. исследуемые почвы имеют слабощелочную реакцию pH , следовательно, имеют слабую адсорбционную способность, можно предположить, что водорастворимые формы сульфатов могли вымыться из верхних горизонтов почвы в более глубокие слои. Установлено, что содержание серы в верхнем горизонте почв составляет 0,001 - 0,02 мг/100 г и характеризуется как очень низкое.

Ионы кальция играют непосредственную роль в формировании структурности и пористости твердой фазы почвы. Содержание Ca в черноземах составляет 1 - 1,5%*.

Наибольшая концентрация отмечается непосредственно в насаждении с участием *Robinia pseudoacacia*.

**Работа выполнена при государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-3464.2018.11)*

ЛИТЕРАТУРА:

- Базилевич Н. И. Геохимия почв содового засоления. М.: Наука, 1965.
Маслова И. Я. Воздействие содержащих серу аэротехногенных веществ на некоторые агрохимически значимые процессы и свойства почвы / И. Я. Маслова // Агрохимия. – 2008. – С. 80-94.
СанПиН 42-128-4433-87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве" (утв. Минздравом СССР 30.10.1987 N 4433-87). М., 1987.
Хомяков, Д.М. Воздействие хлоридных противогололедных реагентов на засоление почв. / Д.М. Хомяков, Е.А. Чекулаева // Агроэкологическая оптимизация земледелия / Всерос. науч.-исслед. ин-т земледелия и защиты почв от эрозии. – Курск, 2004 – С. 505-508.

ЗНАЧЕНИЕ НАПОЧВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА БОЛОТНЫХ БЕРЕЗНЯКОВ ЭУТРОФНЫХ МЕСТООБИТАНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ ПОДСТИЛОК

Т.Т. ЕФРЕМОВА, С.П. ЕФРЕМОВ, А.Ф. АВРОВА, Н.В. МЕЛЕНТЬЕВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

Подстилка рассматривается как одно из главных биогеоценотических образований, способствующих возобновлению роста и производительности лесных биогеоценозов (Зонн, 1983; Карпачевский, 1981). Подстилки болотных лесов изучены значительно слабее автоморфных местообитаний, хотя заболоченность лесного фонда Западной Сибири по экспертным оценкам достигает 75 млн. га (Ефремов и др., 2005). Совсем не изученным остается влияние напочвенного растительного покрова на строение, мощность и запасы подстилки в пределах формации типов леса, которые, располагаясь в одном экогенетическом ряду, последовательно сменяют друг друга, будучи связанными общим типом почвообразования.

Исследования выполнены в эутрофной части Еловочного болота – одного из наиболее крупных лесоболотных массивов междуречья Оби и Томи общей площадью 2.3 тыс. га. К настоящему времени на массиве сформировалась локально обособленная внутриболотная гидрографическая сеть, стержневым элементом которой является русло р. Еловка. Большая часть болота покрыта насаждениями берёзы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), окаймляющие русло внутриболотной речки. В хронологическом (пространственном) отношении распределение типов березовых древостоев по мере удаления от русла внутриболотной речки

обуславливает закономерные различия в морфогенетических свойствах лесной подстилки. Контактные полосы между типами березняков имеют неравномерно-зигзагообразный характер, который в значительной степени определяется чередованием положительных и отрицательных элементов микрорельефа, дифференцирующих уровни почвенно-грунтовых вод и их влияние на состав и продуктивность индикаторных растительных сообществ. В силу континуальности сукцессионного ряда в основу разграничения формации болотных березняков и соответствующих им типов подстилок положили общепринятое представление о единстве типов леса с условиями произрастания. В этой связи от русла внутриболотной речки вглубь торфяного массива был проложен экологический профиль 270·160 м общей площадью 4.32 га.

Для типизации (систематизации) объектов воспользовались формальным методом древовидной кластеризации, используя следующие показатели: расстояние от русла внутриболотной речки, уровни стояния почвенно-грунтовых вод в летний и осенний срок за 2003–2006 года, а также запасы подстилок в этот период. В итоге экологический профиль по отношению к руслу внутриболотной речки дифференцирован на следующие кластеры: 0–30 м, 30–100, 100–140, 140–230 и 230–270 м. Дискриминантный анализ итогов кластеризации показал высокое качество группировки: лямбда Уилкса <0.0001 , p -уровень значимости F -критерия – 555, связанного с лямбдой, равен <0.0001 . Типизация и оценка мощности подстилок выполнена согласно (Сапожников, 1981, Гришина, 1986).

В прирусловом, наиболее дренированном поясе березняков (0–30 м) диагностированы четыре характерные растительные группировки – папоротниковая, папоротниково-крапивная, крапивная и крапивно-лабазниковая, определяющие папоротниково-крапивно-лабазниковый тип леса. Доминантами при 100%-ном проективном покрытии выступают: *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р.Fuchs., *Urtica dioica* L. и *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. В данном типе березняка образуется полнопрофильная ($L_{0.7} - F_{2.1} - H_{2.9}$) сильноразложившаяся мощная подстилка (5.7 см) древесно-крупнотравного состава и запасом органического вещества 4.55 кг/м².

За пределами прируслового пояса (30–100 м) из травостоя практически полностью выпадают папоротники и крапива, место которых, наряду с лабазником, активно занимает вейник пурпуровый (*Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin.s.l.). В вейниково-лабазниковом типе леса также формируется полнопрофильная ($L_{1.4} - F_{3.3} - H_{\text{фрагментарно}}$) мощная (5 см) сходного состава, но среднеразложившаяся подстилка с более низким запасом 3.67 кг/м².

На расстоянии 100–140 м от русла (местоположение древней заторфовой ложбины стока в виде вогнутой поверхности) наблюдается явно выраженный гидроморфизм

местообитания и доминирование в напочвенном покрове разнообразных видов осок – *Carex diandra* Schrank, *C. appropinquata* Schum., *C. lasiocarpa* Ehrh. и *C. caespitosa* L., образующих плотную дернину, перекрытую сверху зарослями вейника пурпурового. В вейниково-осоковом закочкарённом березняке формируется грубобразложившаяся (L_{1.7} – F_{1.9} – корневищная) древесно-осоково-вейниковая маломощная (3.6 см) подстилка с запасом 2.15 кг/м².

С дальнейшим продвижением вглубь болотного массива (140–230 м) его поверхность выполаживается, поднимается уровень почвенно-грунтовых вод, возрастает влажность местообитаний. В напочвенном покрове формируются преимущественно сообщества зеленых лесных и гипновых мхов, а также плаунов с различным представительством трав, что позволяет отнести их к категории полидоминантных со 100%-ным проективным покрытием. Среди наиболее значимых видов находятся: *Pleurozium Schreberi* (Brid.) Mitt., *Polytrichum commune* Hedw., *Climacium dendroides* (Hedw.) Web.et Mohr, *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr., *Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loeske, *Helodium Blandowii* (Web.et Mohr) Warnst., *Lycopodium clavatum* L., *L. annotinum* L., *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, *Menyanthes trifoliata* L., *Carex globularis* L., *C. magellanica* Lam., *C. rostrata* Stokes, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm. В условиях зеленомошно-болотно-разнотравного типа леса формируется торфянистая (L_{2.4} – F_{2.5}) мелкотравно-сфагново-древесная маломощная (4.5 см) подстилка с запасом 2.55 кг/м².

На расстоянии 230–270 м и далее от речки усиливается гидроморфизм условий местообитания и формируются сфагново-мертвопокровные березняки с участием до четырех единиц сосны в составе древостоя. Это благоприятствует формированию моховых сообществ, проективное покрытие которыми составляет 50–65%. Основной фон образуют сфагновые мхи, слабо перекрытые видами травянистых растений. Доминируют: *Sphagnum angustifolium* (Russ.) C. Jens., *Sph. centrale* C. Jens., *Sph. warnstorffii* Russ. и *Sph. squarrosum* Crome. Из травянистых растений встречаются: *Pyrola rotundifolia* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *Trientalis europaea* L. и *Circaea alpina* L. Под моховыми синузиями формируется торфяная (Оч,О1_{3.3}–Оч,О2_{2.8}) древесно-сфагновая мощная подстилка (6.1 см) с запасом органической массы 3 кг/м². Мертвопокровные выделы (35–50% пробной площади) представляют из себя главным образом мелководные блюдцеобразные мочажины, лишённые растительности, а также приствольные рыхлые каркасы из опорных корней деревьев с многолетним хвое-лиственным опадом. На мертвопокровных участках формируется оторфованная (О1_{3.3}–О2'_{2.2}–О2''_{0.7}) мощная (6.2 см) древесного состава подстилка с запасом 3.2 кг/м².

Таким образом, установлено направление смен морфогенетических типов лесной подстилки в формации болотных березняков эутрофного экогенетического ряда, развитие которых обусловлено дренирующим влиянием внутриболотной гидрографической сети. Сильной среднеразложившаяся подстилка крупнотравных типов леса последовательно сменяется на груборазложившуюся (корневищную) в закоккаренных осоково-вейниковых, затем на торфянистую в группе типов леса с участием моховой растительности в напочвенном покрове и торфяную под сфагновыми синузиями. Мощность и запасы подстилок изменяются соответственно: 5.7 см (4.5 кг/м²) > 4.7 (3.7) > 3.6 (2.1) < 4.5 (2.5) < 6.2 см (3.0 кг/м²).

Вследствие континуальности напочвенного растительного покрова объективное разграничение формации болотных березняков на типы леса целесообразно выполнять по количественным эдафическим показателям методами многомерного статистического анализа.

ЛИТЕРАТУРА:

- Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Блойтен В. Биологическая продуктивность и углеродный пул фитомассы лесных болот Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2005. № 1. С. 29-44.
Зонн С.В. Биогеоэкологические и генетические основы классификации лесных подстилок / Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 80-81.
Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 264 с.
Сапожников А.П. Лесная подстилка – номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. 1984. № 5. С. 96-105.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ НА СЕВЕРНОМ ПРЕДЕЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Е.А. ИВАНОВА¹, Н.В. ЛУКИНА², М.А. ДАНИЛОВА², Н.А. АРТЕМКИНА¹, В.Э. СМИРНОВ², В.В. ЕРШОВ¹, Л.Г. ИСАЕВА¹

¹Институт проблем промышленной экологии Севера, ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Разложение растительных остатков является одним из ключевых процессов почвообразования. Темпы деструкции опада зависят от гидротермических условий почв (Кузнецов, Осипов, 2011), активности почвенной биоты (Воробьева, Наумова, 2009), фракционного состава опада (Бобкова, 2000), исходных концентраций элементов питания и вторичных метаболитов и соотношений C/N и лигнин/N, определяющих качество растительного материала (Zhang et al., 2008; Rahman et al., 2013). Воздушное загрязнение негативно влияет на скорость разложения опада, снижая его качество (Бергман, Воробейчик,

2017; Kozlov, Zvereva, 2015; Lukina et al., 2017). На Кольском полуострове с 30-х годов прошлого века крупнейшим источником выбросов сернистого газа и соединений тяжелых металлов является медно-никелевый комбинат «Североникель» (г. Мончегорск, АО «Кольская ГМК»). Цель работы – оценить скорость разложения растительного опада на начальных этапах в сосняках лишайниково-кустарничковых и ельниках кустарничково-зеленомошных в естественных условиях и под воздействием аэротехногенного загрязнения выбросами комбината «Североникель».

Исследования проводились в 1996-1999 гг. на мониторинговых площадках в сосновых и еловых лесах на различном удалении в ЮЗ направлении от источника загрязнения: в 7-10 (техногенные редколесья), 25-40 (дефолирующие леса) и более 100 км (фоновые условия). Образцы опада хвои и листьев доминирующих видов растений (*Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Empetrum hermaphroditum*), отбирали в сентябре 1996 (ельники) и 1997 (сосняки) года, растительный материал (10 г сухого вещества) закладывали в пакеты из синтетической ткани и размещали в подкروновых и межкروновых пространствах мониторинговых площадок в двух повторностях для каждой фракции. Пробы отбирались ежегодно в октябре через 1 и 2 года после начала опыта.

Расчеты производились на абсолютно сухой вес. Потери массы – разность массы образцов до закладки и через 1 или 2 года – выражались в процентах. Изменение состава опада в процессе разложения оценивалось с помощью коэффициента обогащения для каждого элемента (Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, N, C, P) и для лигнина (отношение концентрации после 1 или 2 года разложения к исходной), а также потерь элементов и лигнина с учетом потери массы (разница произведений концентрации компонента на массу образца до начала эксперимента и через 1 или 2 года в процентах). Влияние качества опада по содержанию лигнина, элементов и соотношениям C/N, лигнин/N, N/P в смешанных образцах листьев и хвои (хвоя ели и сосны, листья вороники, брусники, березы и черники) на потери массы, а также воздействие формации лесов (еловые и сосновые) и воздушного загрязнения на потери массы, химический состав опада, потери элементов и соединений при разложении через v -критерий оценивали в среде программирования R (Husson et al., 2017).

Результаты анализа по методу главных компонент показали наличие положительной связи темпов разложения опада с исходными концентрациями Ca (0.64), Mg (0.68), K (0.84), Mn (0.80), и отрицательной – с Al (-0.68), C (-0.72), Fe (-0.72), Cu (-0.75) и соотношениями лигнин/N (-0.80) и C/N (-0.76). Наиболее быстро разлагался опад листьев березы с высоким содержанием Zn и Mg и узким отношением N/P, слабее всего – бедный элементами питания

опад хвои сосны с широким отношением C/N. Активно разлагался опад хвои ели и листьев кустарничков рода Брусничные с наиболее высоким исходным содержанием Ca, Mn и K.

Исходные концентрации Ca, Mg, Mn и Zn в опаде дефолирующих лесов и редколесий по сравнению с фоновыми условиями в связи с влиянием эмиссий комбината «Североникель» оказались ниже, Ni и Cu – существенно выше, что привело к снижению скорости разложения опада листьев вечнозеленых кустарничков и хвои ели с 27% в фоновых условиях до 17% в техногенных редколесьях, темпы разложения листьев березы снизились с 60 до 55%. Кроме того, на стадиях техногенной дигрессии по сравнению с фоном в процессе разложения наблюдалось ярко выраженное накопление Fe, Al, Ni и Cu и потери Ca, K, Mg и Mn. В опаде вечнозеленых растений после 2 лет разложения соотношение C/N возрастало от 74 до 89, лигнин/N – от 46 до 66, N/P – от 13 до 15 в фоновых условиях и редколесьях, соответственно, характеризуя ухудшение качества опада в условиях загрязнения.

Опад вечнозеленых растений еловых лесов с более высоким содержанием элементов питания и более узкими отношениями C/N и лигнин/N в фоновых условиях в течение двух лет разлагался быстрее, чем сосновых. Потери массы опада были максимальны в межкрупных пространствах ельников, минимальны – под кронами сосновых деревьев, что может быть связано с более низкой температурой почв под кронами деревьев. Опад листьев березы активнее разлагался в сосновых лесах по сравнению с еловыми (60 и 45%, соответственно), возможно, по причине того, что исходное отношение N/P в листьях *B. pendula*, доминирующей в сосняках, существенно меньше, чем в листьях *B. pubescens*, доминирующей в ельниках.

Потери массы опада еловых и сосновых лесов в дефолирующих лесах и редколесьях оказались сопоставимы в связи с мощным негативным влиянием аэротехногенного загрязнения. Активное накопление Cu и Ni и значительные потери Ca и Mn в дефолирующих еловых лесах обусловлены более ярко выраженными, чем в сосновых лесах, процессами подкисления осадков. Высокие уровни аккумуляции N, P, Al, Zn, Fe, Ni и Cu в опаде еловых техногенных редколесий через 2 года разложения объясняются обогащением опада этими элементами в результате более эффективного связывания их органическими соединениями, в том числе, лигнином.

Результаты исследования подтверждают зависимость скорости разложения от исходного качества опада. Снижение темпов деструкции опада дефолирующих лесов и техногенных редколесий по сравнению с фоновыми условиями обусловлено повышенным содержанием Ni и Cu, низким содержанием Ca, Mn, K и Mg и расширением соотношений лигнин/N, C/N и N/P. В лесах, подверженных воздушному загрязнению, по сравнению с

фоном, при разложении растительных остатков возрастали потери Ca, Mn, K и Mg, но более интенсивно накапливались лигнин, Al, Fe, Ni и Cu. Темпы разложения опада вечнозеленых растений оказались существенно выше в еловых лесах, листьев березы – в сосновых лесах, что также объясняется качеством опада.

**Обработка результатов исследования выполнена в рамках госзаданий № АААА-А18-118021490070-5 и № АААА-А18-118052400130-7*

ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЧВ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЗЕЛЕНОМОШНОЙ И ЛИШАЙНИКОВОЙ СЕРИИ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

И.Б. КАЛИМОВА, И.В. ДРОЗДОВА, Н.И. СТАВРОВА, Н.В. АЛЕКСЕЕВА-ПОПОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, г. Санкт-Петербург

Территория Кольского полуострова является северной границей бореальной зоны европейской части России. За последнее столетие в этом регионе отмечается тенденция к увеличению доли сосняков, что связывают с особенностями геоморфологии и почвенно-климатических условий, а также с влиянием пожаров (Цветков, 2002). Среди крайне-северных лесных сообществ сосняки представляют наибольшую ценность, так как они обладают высокой продуктивностью и выполняют защитные функции лесного покрова на северном пределе их распространения (Гончарова и др., 2009). В лесной зоне Кольского полуострова преобладают Al-Fe-гумусовые подзолы, сформировавшиеся на ледниковых и морских породах легкого гранулометрического состава, имеющие профиль O–E–B_{hf}–(BC)–C (Переверзев, 2004). Сравнительное изучение минерального состава почв средневозрастных сосновых лесов с давностью пожара 85–90 лет проводили на 12 пробных площадях (ПП), расположенных в среднем течении р. Лива. ПП были заложены в лесах с разными типами напочвенного покрова и проективного покрытия древесного яруса: сосняке зеленомошном, лишайниково-зеленомошном, лишайниковом и лишайниковой редине. Всего проанализировано 110 образцов, отобранных из 14 почвенных разрезов. Содержание подвижных форм микроэлементов Fe, Mn, Zn, Cu, Ni определяли в ацетатно-аммонийном буфере при pH 4.8, обменных форм макроэлементов Ca, Mg, K – при pH 6.5. Степень гумусированности оценивали по величине потери при прокаливании в муфеле при t 450°C. Значение актуальной кислотности определяли по величине pH. Для средних значений представлены стандартные отклонения. Значимость различий между парными значениями оценивали на основе критерия Краскела-Уоллеса при P < 0.05.

Установлено, что горизонт О сосняка зеленомошного отличается максимальной аккумуляцией Fe (9.96 ± 1.20) и Mn (170 ± 22.3 мг/кг), а минимальное содержание этих элементов обнаружено в подстилке лишайниковой редины Fe (5.52 ± 0.90) и Mn (107 ± 38.9 мг/кг). При этом подстилка последнего сообщества накапливает больше всего Zn (34.1 ± 5.76 мг/кг). Лесная подстилка сосняка лишайникового характеризуется минимальным уровнем Zn (19.3 ± 2.54 мг/кг) и максимально накапливает Ni (1.35 ± 0.23 мг/кг). Наименьшее содержание Ni обнаружено в горизонте О сосняка зеленомошного (0.73 ± 0.12 мг/кг). Микроэлементный состав лесной подстилки почв лишайниково-зеленомошного сообщества значимо не отличается от такового других типов сосновых сообществ. Из макроэлементов только уровень К значимо различается между почвами разных типов сообщества. Максимальное количество данного элемента обнаружено в подстилке сосняка зеленомошного (3.43 ± 0.20 мг/экв на 100 г почвы), минимальное – лишайниковой редины (1.61 ± 0.23 мг/экв на 100 г почвы). Актуальная кислотность и степень гумусированности лесных подстилок всех типов исследуемых сосняков значимо не различались и находились в диапазоне: рН – 3.81– 3.93 и потеря при прокаливании – 84.4– 91.7%. Характерной чертой элювиального горизонта Е подзолистых почв является минимальное содержание не только минеральных элементов, но и органического вещества. Выявлено, что содержание всех микроэлементов, кроме Mn, не зависит от типа сообщества. В почвах лишайниково-зеленомошного сообщества отмечено максимальное содержание этого элемента (1.30 ± 0.39 мг/кг), в почвах сосняка лишайникового его концентрация существенно ниже (0.32 ± 0.05 мг/кг). Из макроэлементов только уровень Mg имеет значимые различия в данном горизонте почв всех исследуемых сосновых сообществ. Наибольшее содержание этого элемента обнаружено в сосняке лишайниковом (0.68 ± 0.27 мг/экв на 100 г почвы), а минимальное – в зеленомошном (0.27 ± 0.08 мг/экв на 100 г почвы). Установлено, что подзолистый горизонт – единственный генетический горизонт почвенного профиля, в котором кислотность среды значимо различается в почвах всех сообществ, кроме сосняка лишайникового. Максимальное значение рН имеет горизонт Е почвы лишайниковой редины (4.46 ± 0.07), самая кислая реакция среды данного горизонта в почве сосняка зеленомошного (4.18 ± 0.03). Величина потери при прокаливании не зависит от типа сосняка и составляет в среднем $1.31 \pm 0.12\%$. Иллювиальный горизонт Bhf отличается наибольшей аккумулятивной способностью, но при этом уровень накопления в нем минеральных элементов, за исключением Mn, существенно не различается в зависимости от исследуемых сосновых сообществ. Наибольший уровень накопления Mn в горизонте Bhf отмечен в почве сосняка лишайниково-зеленомошного (3.33 ± 0.91 мг/кг). Минимальным содержанием этого элемента выделяется почва лишайниковой

редины (0.83 ± 0.30 мг/кг). Актуальная кислотность иллювиального горизонта не зависит от типа сосняка и имеет среднее значение 4.86 ± 0.07 . В горизонте Bhf выявлены особенности аккумуляции органического вещества, характерные для разных типов сообществ сосновых лесов. Минимальный показатель потери при прокаливании установлен в почве сосняка лишайникового ($2.82 \pm 0.33\%$), а наиболее обогащён органическим веществом горизонт Bhf сосняка зеленомошного ($5.45 \pm 1.26\%$). Горизонт BC почвенного профиля является переходным к почвообразующей горной породе С. Как и в вышележащих минеральных горизонтах значимые различия обнаружены только для содержания Mn. Максимальный уровень накопления этого элемента в данном горизонте обнаружен в почве сосняка лишайникового (1.80 ± 0.37 мг/кг), минимальный – сосняка зеленомошного (0.52 ± 0.06 мг/кг). На показатель актуальной кислотности среды горизонта BC тип растительного сообщества влияния не оказывал, среднее значение pH составляет 5.20 ± 0.09 . Однако были выявлены значимые различия в аккумуляции органического вещества. Наименьший уровень последнего был обнаружен в горизонте BC почвы сосняка лишайниково-зеленомошного ($1.30 \pm 0.05\%$), а наибольший – сосняка зеленомошного ($1.53 \pm 0.09\%$). В горизонте С почвенного профиля, значимые различия обнаружены только для содержания макроэлементов Ca и Mg. В большой степени, различия в их содержании является следствием особенностей химического состава подстилающей горной породы. Наиболее обогащён Ca горизонт С под сосняком лишайниковым (0.97 ± 0.08 мг/экв на 100 г почвы), а Mg – под лишайниково-зеленомошным (1.07 ± 0.17 мг/экв на 100 г почвы). Горизонт С последнего отличается наибольшим содержанием органического вещества, величина потери при прокаливании составляет $1.20 \pm 0.07\%$. Почвообразующая порода С характеризуется наименьшей кислотностью среды. Показатель pH, постепенно увеличиваясь вниз по профилю, независимо от типа соснового леса, достигает в данном горизонте максимального значения (5.36 ± 0.07).

Таким образом, для почвенного горизонта O максимальное содержание K, Mn и Fe характерно для сосняка зеленомошного, а минимальное – для лишайниковой редины. Вероятно, одной из причин этого является более высокая кислотность среды почвы сосняка зеленомошного. Наибольшая вариабельность K и Mn в почвах сравниваемых сообществ обусловлена их большей подвижностью. Выявленные особенности химизма почв разных типов сосняков необходимы для установления динамики уровня минеральных элементов, показателя актуальной кислотности и степени гумусированности почвенного профиля в процессе сукцессии сосновых лесов Кольского полуострова. Полученные сведения об уровнях химических элементов могут быть использованы для установления их регионального фонового уровня.

**Исследование выполнено в рамках Госзадания (тема № 01201458800). Экспедиционные исследования осуществлялись при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-04-10112-к).*

ЛИТЕРАТУРА:

Гончарова О.А., Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю. Оценка динамики радиального прироста и особенности возрастной структуры сосновых древостоев в южном секторе Кольского полуострова // Теоретическая и прикладная экология. 2009. №2. С. 58-65.
Переверзев В. Н. Глеевые почвы лесной зоны Кольского полуострова // Почвоведение. 2004. № 3. С. 284-290.
Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них Архангельск: АГТУ, 2002. 377 с.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАДА В ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛИСТВЕННИЧНИКАХ

А.В. КОНДРАТОВА, Е.Р. АБРАМОВА, И.Н. СМУСКИНА

Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Благовещенск

Бореальные леса – это крупнейшая непрерывная наземная экосистема на Земле. Общая площадь бореальных лесов составляет около 38% лесопокрытой площади мира. Большая часть бореальных лесов планеты находятся в России (Soja et al., 2007). Благодаря замедленной биодеструкции, почвы бореальных лесов являются крупнейшим резервуаром углерода (С). Поэтому полевые эксперименты по разложению опада в условиях бореального леса с использованием преобладающих видов растительности представляют несомненный интерес в понимании механизма цикла С.

Пожары в таежной зоне являются естественно - историческим фактором развития лесных экосистем. Огонь оказывают влияние на темпы разложения опада в связи с изменением температуры и влажности почвы, содержания С и N, биомассы и разнообразия микробных сообществ, значения рН (Vaní et al., 2018). Воздействие пожаров на темпы разложения опада в зоне бореальных лесов полностью не изучено. Имеются данные о более низких темпах разложения в постпирогенных сосновых лесах (Koster et al., 2016). Самыми пожароопасными на территории России являются регионы Сибири и Дальнего Востока. Тем не менее, исследования пирогенного влияния на скорость разложения опада в этих регионах России не проводились. В связи с этим, нашей целью являлось изучение влияния гидротермических условий на процесс биодеструкции опада в постпирогенных лиственничниках Дальнего Востока России.

Исследования проводили в естественных северных бореальных светлохвойных лесах, расположенных в Зейском заповеднике (54°00' с. ш., 127°02' в. д.) (Верхнее Приамурье,

восточная часть хр. Тукурингра). В течение трех вегетационных периодов проведен полевой эксперимент по разложению опада на двух площадках: в фоновом ненарушенном лесу и постпирогенном, нарушенном устойчивым низовым пожаром 2003 года. Учет запаса лесной подстилки осуществляли с помощью квадратной рамки 25x25 см в 15 повторностях на каждой площадке. Опад преобладающих видов растений собран с использованием опадоуловителей (Базилевич и др., 1978). Сбор травянистой растительности осуществляли с площадок в 1 м². Отобранный опад разделяли на фракции: листья (береза плосколистная *Betula platyphylla* Sukacz. и тополь дрожащий *Populus tremula* L.), ветви (береза плосколистная, тополь дрожащий и лиственниц Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., хвоя (лиственница Гмелина и частично ель сибирская *Picea obovata* Ledeb.), трава (майник средний *Maianthemum intermedium* Worosch., вейник *Calamagrostis* sp. и осока шаровидная *Carex globularis* L.). Кроме того, все эти фракции смешивали (mix) для наблюдения за процессами в смеси.

Для оценки скорости разложения опада применяли метод изоляции растительного материала в мешочках из ткани. В мешочки из нейлоновой ткани размером 10x10 см помещали 7 г отдельных фракций опада (листья, хвоя, трава, ветви), а также их смесь (n=6). Размер ячеек составлял 40 мкм. Всего заложено 248 образцов – по 124 на каждой площадке. Мешочки с сухими фракциями опада помещали между верхним слоем опада и подстилкой. Сбор материала произведен через 75, 150, 500, 850 дней после закладки. После извлечения определяли влажность опада. Потеря массы определялась как разница между исходным и конечным сухим весом образца. Температуру почвы измеряли каждый час на глубине 10 см в течение всего эксперимента с помощью датчиков Tidbit v2 Temp Logger (Onset Computer Corporation, США). Статистическую обработку данных проводили с помощью программы R.

На гари поступление опада было ниже в 1,8 раза ($p < 0.001$) по сравнению с фоновым лиственничником. Прямо пропорционально снизился и запас подстилки ($p < 0.001$). Соотношение запаса подстилки и опада на обоих участках характеризуется подстильно-опадным коэффициентом 2.1. По отношению к лесам мира полученное значение подстильно-опадного коэффициента (>1.0) свидетельствует о медленной скорости разложения (Field..., 2008). Мы предположили, что одинаковый подстильно-опадный коэффициент может свидетельствовать об отсутствии различий в скорости разложения опада между исследуемыми площадками. В опаде древесного яруса преобладают листья и хвоя (60%). В фоновом лиственничнике масса опада листьев широколиственных деревьев примерно на 20% превышает массу опада хвои. На гари соотношение массы листьев и хвои

составляет 1:1, так как при пожаре в первую очередь пострадали широколиственные виды деревьев, в большей части береза.

Гидротермические условия поверхностного слоя почв лиственничников находятся в прямой зависимости от мощности подстилки (Прокушин и др., 2002). Наблюдения за температурой почвы на глубине 10 см в течение всего эксперимента показали, что на постпирогенной площадке в зимний период температура статистически значимо ниже по сравнению с контролем, в зависимости от года разница составляет 3-7°C ($p < 0.001$). Так, в послепожарных лиственничниках северной тайги Центральной Эвенкии, также показано более сильное промерзание минерального слоя почвы 0 – 5 см в зимний период (Безкоровайная и др., 2018). Не столь однозначны данные по температуре летнего периода. Только в 2018 году средняя температура на гари превысила контрольную на 2°C ($p < 0.001$). На данном этапе послепожарной сукцессии (13 лет после пожара) происходит интенсивное зарастание нижнего яруса травой и кустарниковой растительностью, что возможно компенсирует последствия пожара и предотвращает сильное повышение летних температур. Так, в почвах северотаежных лиственничников через 24 года после пожара температура подстилки и минерального слоя почв до 20 см была близка к значениям контрольного участка (Безкоровайная и др., 2018).

Также пожары приводят к изменению почвенной влажности, которая влияет на процесс разложения. В наших исследованиях влажность подстилки на гари была ниже, чем в фоновом насаждении во все сроки отбора ($p < 0.001$). В среднем, за весь период эксперимента разница составила около 5%. Подобные результаты получены в постпирогенных лиственничниках Восточного Хэнтэя, где пониженная на 15% влажность сохранялась в течение 12 лет (Краснощеков и др., 2014).

На протяжении всего эксперимента мы не обнаружили влияния постпирогенного фактора на скорость потери массы листьев, травы и ветвей. В то время как хвоя в постпирогенном лесу разлагалась медленнее, чем на контроле на поздних сроках эксперимента (550 и 850 дней) ($p = 0.0035$). При смешивании фракций опада (mix) статистически значимых отличий по скорости потери массы между изучаемыми насаждениями не установлено: потеря массы составила на контроле 53.9%, на гари – 53.6%.

Таким образом, долговременные изменения гидротермических условий поверхностного слоя почв, вызванные пожаром 13-летней давности, не оказали существенного влияния на скорость разложения опада в северотаежном лиственничнике.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-35-00454 (полевые исследования), № 19-05-00305 (аналитические работы).*

ЛИТЕРАТУРА

- Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. Под ред. А. А. Роде. М.: Мысль, 1978. 185 с.
- Безкоровайная И.Н., Климченко А.В., Шабалина О.М., Борисова И.В., Кастерин Г.И. Формирование температурного режима криогенных почв на гаях разного возраста // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 179–182.
- Краснощеков Ю.Н., Евдокименко М.Д., Доржсурэн Ч. Влияние пожаров на экосистемы подтаежных лиственничных лесов Восточного Хэнтэя в Монголии // Сибирский лесной журнал. 2014. №3. С. 53-63.
- Прокушин С.Г., Абаимов А.П., Прокушин А.С., Каверзина Л.Н. Азотное питание лиственничников на мерзлотных почвах // Сибирский экологический журнал. 2002. №2. С. 203-211.
- Vani, A., Pioli, S., Ventura, M., Panzacchi, P., Borruso, L., Tognetti, R., Tonon, G., Brusetti, L., 2018. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Appl. Soil Ecol.* 126, 75–84.
- Field Measurements for Forest Carbon Monitoring / Ed. С.М. Hoover. N.Y.: Springer Science, 2008. 240 p.
- Koster K, Berninger F, Heinonsalo J, Linden A, Koster E, Ilvesniemi H, Pumpanen J. 2016. The long-term impact of low intensity surface fires on litter decomposition and enzyme activities in Boreal Coniferous Forests. *International Journal of Wildland Fire* 25:213–23.
- Soja, A.J., Tchebakova, N.M., French, N.H.F., Flannigan, M.D., Shugart, H.H., Stocks, B.J., Sukhinin, A.I., Parfenova, E.I., Chapin, F.S., Stackhouse, P.W., 2007. Climate-induced boreal forest change: predictions versus current observations. *Glob. Planet. Chang.* 56, 274–296.

АЛЬГО-МИКОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СОСНОВОМ И БЕРЕЗОВОМ ЛЕСАХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК»

М.В. КОРНЕЙКОВА, В.В. РЕДЬКИНА

Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии
наук», Апатиты, Россия

Государственный природный заповедник «Пасвик» организован в 1992 г. на северо-западе Кольского полуострова на границе России и Норвегии. В 2009 г. в рамках международной кооперативной программы мониторинга лесов ICP-Forests, реализуемой заповедником совместно с институтами РАН, созданы две площадки постоянного наблюдения интенсивного мониторинга в лишайниково-бруснично-зеленомошном сосняке (в окрестностях пос. Янискоски) и в разнотравном березняке (в долине р. Паз, остров Варлама, южная часть заповедника) (Лукина и др., 2013; Поликарпова и др., 2013). Одним из основных объектов мониторинга является почва, состояние которой можно оценивать, в том числе, по показателям функционирования микробных сообществ.

Цель работы – изучение альго-микологических комплексов в почвах под разными растительными микрогруппировками в сосновом и березовом лесах на территории заповедника «Пасвик».

Почвы изучаемой территории – Al-Fe-гумусовые подзолы (Albic Podzols). Места отбора образцов в сосняке: под лишайниками (*Cladonia sp.*), под кустарничками (*Vaccinium vitis-idaea L.*, *Empetrum hermaphroditum Hager.*), под мхами (*Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt.*,

Polytrichum sp.), под багульником (*Ledum palustre* L.); во вторичном березняке: под хвощами (*Equisetum sylvaticum* L.), под бобовыми (*Vicia sp.*), под злаками (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.).

Численность микромицетов определяли методом глубинного посева на среду Чапека с добавлением молочной кислоты; биомассу – прямым методом флуоресцентной микроскопии (Olsen, Hovland, 1985). Численность живых клеток водорослей определяли методом прямого счета под люминесцентным микроскопом на сухих мазках почвенной суспензии (Кондакова, Домрачева, 2007). Видовую идентификацию водорослей и микромицетов осуществляли по морфологическим признакам по отечественным и зарубежным определителям. Видовые названия и их систематическое положение уточняли по пополняемым спискам видов в базах данных The MycoBank Fungal database (<http://www.mycobank.org>), CABI Bioscience Databases (<http://www.indexfungorum.org>) и Algaebase (Guiry, 2016).

Численность микроскопических грибов в сосняке достоверно отличалась от таковой в березняке и изменялась от 46 до 216 тыс. КОЕ/г в разные годы исследования. Численность микромицетов в березняке варьировала от 44 до 70 тыс. КОЕ/г, что в 2.0–2.5 раза меньше, чем в почве соснового леса. По результатам дисперсионного анализа выявлено статистически значимое влияние типа леса и рН почвы на численность грибов, в то время как четкой связи количества микромицетов с влажностью и температурой среды не обнаружено.

Биомасса микроскопических грибов в сосновом и березовом лесу под разными растительными микрогруппировками достоверно не отличалась. В сосняке она изменялась от 1.2 до 2.1 мг/г почвы, в березняке – от 1.6 до 5.4 мг/г за два года исследований, за исключением биомассы микромицетов в почве березового леса под злаками в 2015 году, где ее значения достигали 5.4 мг/г почвы.

В почве соснового леса было выделено 12 видов микроскопических грибов, относящихся к 6 семействам, 5 порядкам, 3 классам, 2 отделам и группа грибов со стерильным мицелием; в почве березового леса – 18 видов из 9 семейств, 7 порядков, 5 классов, 2 отделов и грибы со стерильным мицелием. Разнообразие микромицетов в почве березового леса в годы исследований было богаче (pp. *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cosmospora*, *Clonostachys*, *Mortierella*, *Mucor*, *Penicillium*, *Phialophora*, *Torula*, *Trichoderma* и *Umbelopsis*), чем в почве под сосняком (pp. *Clonostachys*, *Cosmospora*, *Mortierella*, *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma* и *Umbelopsis*). На долю грибов рода *Penicillium*, который является доминирующим в почвах Кольского полуострова и других северных регионов приходилось в сосновом лесу 42% от общего количества выделенных видов, в березовом лесу – всего 22%. Многофакторный дисперсионный анализ показал влияние типа леса на количество

выделенных видов микроскопических грибов. Виды *Penicillium glabrum*, *P. spinulosum*, *Trichoderma viride* встречались под всеми растительными микрогруппировками, как в сосновом, так и в березовом лесу. Вид *P. raistrickii* встречался только в почве соснового леса в период исследования, а виды *Acremonium egyptiacum*, *Aspergillus ustus*, *Phialophora asteris*, *Mortierella alpina*, *Torula expansa*, *T. lucifuga*, *Trichoderma koningii* – только в почве березового леса.

В сосновом лесу под разными растительными микрогруппировками по обилию в оба года исследований доминировали *Penicillium spinulosum* и *P. glabrum*. В березняке виды-доминанты в большей степени зависели от типа напочвенного покрова, чем в сосновом лесу. В составе доминантов здесь появились представители пор. *Mucorales*. В первый год под хвощами доминировали *Umbelopsis isabellina*, *P. glabrum*; под бобовыми – *Mucor sp.* и *P. spinulosum*; под злаками – *Aspergillus ustus*, *Trichoderma viride*. Во второй год в почве березняка абсолютным доминантом под всеми растительными микрогруппировками был гриб *Mortierella alpina*.

Численность жизнеспособных клеток водорослей и цианобактерий в среднем была выше в березовом лесу, достигая максимальных значений под хвощами – 1.3 млн.кл./г абс.сух.почвы. Наименьшая численность микрофототрофов – 0.15 млн. кл./г, характерна для участка соснового леса под багульником, что, по-видимому, связано с выраженными аллелопатическими свойствами этого растения (Castells et al., 2003). При этом не выявлено зависимости численности водорослей и цианобактерий от показателей влажности.

В исследованных почвах обнаружен 61 вид водорослей и цианобактерий, относящихся к 4 отделам, 9 классам, 17 порядкам, 31 семейству. По числу видов преобладают водоросли из отдела Chlorophyta (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Ulvophyceae). В меньшей степени представлены Cyanobacteria, Charophyta (Klebsormidiophyceae), Ochrophyta (Xanthophyceae, Bacillariophyceae, Eustigmatophyceae). Ведущими семействами в лесных экосистемах заповедника были Oocystaceae, Prasiolaceae, Trebouxiaceae, Ulotrichaceae, Chlamydomonadaceae и Klebsormidiaceae.

Выявлена статистически достоверная положительная корреляция между количеством видов и pH почвы ($r=0.80$, $p=0.05$). Так, в менее кислой почве под березовым лесом всего выявлено 50 видов, по 34-37 видов под каждым типом растительности. В сосновом лесу обнаружено лишь 29 видов водорослей и цианобактерий, от 10 до 19 видов под разными растительными сообществами.

Таким образом, получены данные о структуре альго-микологических комплексов в Al-Fe-гумусовых подзолах (Albic Podzols) соснового и березового лесов на территории

заповедника «Пасвик». Численность микромицетов выше в более кислых почвах сосняка, видовое разнообразие богаче в березовом лесу. Наибольшим количеством видов представлен род *Penicillium*. По обилию и частоте встречаемости в сосновом лесу доминировали *Penicillium spinulosum*, *P. glabrum*, *Trichoderma viride*, в березняке – *Umbelopsis isabellina*, *Mucor sp.*, *Mortierella alpina*, *P. glabrum*, *Aspergillus ustus*, *Trichoderma viride*, *T. koningii*.

желтозеленых водорослей. В почвах сосняка часто встречались *Pseudococcomyxa simplex*, *Parietochloris alveolaris*, в почвах березняка – *Tetracystis cf. aplanospora*, *Halochlorella rubescens*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Fottea stichococcoides*, *Klebsormidium flaccidum*, *Hantzschia amphioxys*, *Microcoleus vaginatus*, *Aphanocapsa sp.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Лукина Н.В., Орлова М.А., Горнов А.В., Крышень А.М., Кузнецов П.В., Князева С.В., Смирнов В.Э., Бахмет О.Н., Эйдлина С.П., Ершов В.В., Зукерт Н.В., Исаева Л.Г. Оценка критериев устойчивого управления лесами с использованием индикаторов международной программы ICP Forests // Лесоведение. 2013. № 5. С.62–75.
- Поликарпова Н.В., Зацаринный И.В., Исаева Л.Г., Лукина Н.В., Хлебосолова О.А. Состояние наземных экосистем на северо-западе Кольского полуострова, включая территорию заповедника «Пасвик» // Цветные металлы. 2013. № 10. С. 95–101.
- Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Флора Вятского края. Ч. 2. Водоросли (видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров, 2007. 192 с.
- Castells E., Penuelas J., Valentine D.W. Influence of the phenolic compound bearing species *Ledum palustre* on soil N cycling in a boreal hardwood forest // Plant and Soil. 2003. 251. P. 155–166.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. 2016. <http://www.algaebase.org>.
- Olsen R.A., Hovland J. Fungal flora and activity in Norway spruce needle litter // Report. Department of Microbiology, Agricultural University of Norway. 1985. 41 p.

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГОРНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВАХ КРЫМА

И.В. КОСТЕНКО

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», г. Ялта

Интенсивное облесение ранее практически безлесых горных плато Крыма началось в 1957 г. и до 70-х годов прошлого столетия на поверхности яйл Караби, Демерджи и Ай-Петринской было создано около 3 тыс. га искусственных лесных насаждений. Основные массивы этих насаждений, состоящие из десятков отдельных куртин различного породного состава, сосредоточены на Ай-Петринской яйле. Среди древесных пород доминирует сосна обыкновенная, занимающая до 70% площадей. Также в ходе исследований нами были выявлены массивы березы, осины, клена, фундука, лиственницы и груши. Для размещения насаждений подбирались относительно ровные участки, на которых сформировались горно-луговые почвы мощностью 50-150 см.

Ранее нами на плато Ай-Петри проводились исследования по изучению влияния искусственных лесных насаждений сосны, лиственницы и березы на основные свойства горно-луговых почв. В ходе исследований было выявлено, что под лесной растительностью произошло увеличение доли крупных агрегатов в составе почвенной структуры, уменьшение гумусированности, увеличение кислотности и содержания железа из органо-минеральных соединений по сравнению с почвами под луговой растительностью. Наиболее сильные изменения структурного состояния почв наблюдались под насаждениями сосны, кислотности и содержания железа – под насаждениями лиственницы. Уменьшение гумусированности наблюдалось под всеми древесными породами.

Цель настоящих исследований: сравнительный анализ содержания подвижных форм Pb, Cu, Zn и Mn в почве под искусственными лесными насаждениями и под залегающими рядом участками горных лугов.

Объектами исследований были горно-луговые почвы плато Ай-Петри под естественной травянистой растительностью и под искусственными насаждениями сосны крючковатой (*Pinus kochiana* Klotzsch ex K. Koch), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), березы повислой (*Betula pendula* Roth) и клена Стевена (*Acer stevenii* Pojark). В качестве контроля использовался бурозем под естественным лесом бука восточного (*Fagus orientalis* Lipsky).

Почвенные образцы отбирались из слоя почвы 0-10 см в количестве не менее 5 штук под насаждениями каждой из пород и под примыкающими к ним участками горных лугов. Под пологом лесных культур осенью были отобраны образцы свежего опада лиственницы, березы, клена и березы, а также опад сосны текущего года. В образцах почв определяли основные почвенные характеристики, а также содержание подвижных форм Pb, Cu, Zn и Mn в аммонийно-ацетатной вытяжке с pH=4.8 на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-2мт». Содержание элементов в растительных образцах определяли после сухого озоления.

Согласно полученным результатам в почве под всеми лесными породами наблюдалось более высокое содержание подвижного Pb по сравнению с почвой под луговой растительностью. В среднем под сосной содержалось 1.96 ± 0.29 мг/кг, под березой – 1.75 ± 1.08 мг/кг, под лиственницей – 2.70 ± 1.2 мг/кг и под кленом – 1.37 ± 0.46 мг/кг Pb. Под естественным буковым лесом содержание этого элемента (1.43 ± 0.48 мг/кг) было ниже, чем под сосной, березой и лиственницей и близким к почве под кленом. В почве под луговой растительностью содержание подвижного Pb колебалось от 0.73 ± 0.16 до 1.24 ± 0.25 мг/кг и по сравнению с прилегающими участками сосны было ниже в 1.63 раза, березы – в 2.36, лиственницы – в 2.18 клена – в 1.85, бука – в 1.96 раз. Как видим, в почве под березой и лиственницей за относительно непродолжительный период их произрастания накопилось подвижного Pb больше, чем под многовековым буковым лесом.

Наличие достоверной корреляции между содержанием Pb и только одним почвенным показателем – pH ($r=-0.52$; $n=116$), свидетельствует, о том, что увеличение кислотности луговых почв под влиянием искусственных лесных насаждений является основной причиной накопления подвижных форм этого элемента. В опаде всех пород содержание Pb было ниже предела обнаружения, поэтому лесная подстилка не могла быть источником его поступления в почву.

Под всеми лесными породами наблюдалось также накопление подвижного Mn относительно участков под луговой растительностью. Наиболее высокое содержание Mn, как и Pb, отмечено под лиственницей – 24.1 ± 8.4 мг/кг, что в 2.4 раза больше чем под луговой растительностью. Под сосной Mn содержалось 15.3 ± 1.4 мг/кг, под березой – 13.2 ± 4.7 мг/кг, под кленом – 5.1 ± 1.0 мг/кг, что соответственно в 1.2, 1.9 и в 1.1 раз больше чем под лугом. Содержание Mn в почве букового леса (18.8 ± 2.9 мг/кг) было меньше чем под лиственницей, но во столько же раз больше, чем под расположенным рядом участком луговой растительности. Среди почвенных показателей на содержание Mn положительное влияние оказывало содержание ила и Собщ и отрицательное – pH с коэффициентом множественной корреляции 0.66 при $n=89$. В опаде всех листопадных пород содержание Mn было ниже

предела обнаружения, а в хвое сосны составило всего 2.46 мг/кг, поэтому основной причиной накопления подвижного Mn под лесными культурами мы считаем увеличение кислотности почв.

Среди искусственных лесных насаждений слабовыраженное накопление подвижного Zn наблюдалось только под лиственницей, где его содержалось 1.48 ± 0.53 мг/кг – всего в 1.1 раз больше чем под лугом. Под сосной и кленом содержалось примерно столько же Zn, как и под луговой растительностью (0.7-0.9 мг/кг), а под березой (0.72 ± 0.32 мг/кг) даже несколько меньше чем под лугом (0.85 ± 0.35). Значительно больше подвижного Zn содержалось в почве под буком, где его количество (2.79 ± 0.43 мг/кг) было в 3.4 раза больше по сравнению с луговой почвой. Из почвенных факторов на содержание подвижного Zn положительно влияло содержание общего органического углерода (Собщ) и отрицательно – pH с коэффициентом множественной корреляции 0.56 при $n=117$.

Среди изученных элементов только Zn был обнаружен в опаде всех пород. Наибольшее его количество содержалось в хвое сосны (30.7 мг/кг) и лиственницы (12.7 мг/кг). Заметно меньшим и очень близким содержание Zn было в опаде клена и бука – 6.7 и 6.4 мг/кг, и самым низким – в опаде березы – 1.2 мг/кг. Однако, судя по содержанию Zn в почве, это слабо повлияло на накопление его подвижных форм, поэтому основными факторами, способствующими увеличению подвижности Zn, является высокая гумусированность почв на фоне сильноокислой среды, что наблюдается в гор. А бурозема букового леса.

Более высокое содержание Cu по сравнению с луговыми почвами наблюдалось под всеми породами, кроме бука. Наибольшее количество Cu выявлено под насаждениями сосны (0.30 ± 0.05 мг/кг) и рядом под луговой растительностью (0.26 ± 0.04 мг/кг), а также под лиственницей (0.21 ± 0.03 мг/кг) и примыкающим лугом (0.14 ± 0.04 мг/кг). На остальных объектах исследований содержание Cu колебалось в пределах 0.08-0.12 мг/кг, а разница между облесенными и луговыми почвами составляла всего 0.01-0.02 мг/кг. Под буком и рядом под лугом содержалось по 0.11 ± 0.01 мг/кг Cu. Из почвенных факторов на содержание Cu влияло содержание ила и pH с коэффициентом множественной корреляции 0.51 при $n=89$, причем влияние кислотности было гораздо слабее ($r=-0.22$), чем содержания ила ($r=0.46$). Этим, видимо, объясняется низкое содержание Cu под буком, поскольку верхняя часть профиля бурозема лессивирована и содержит меньше ила ($17.9 \pm 2.1\%$), чем почва под лугом ($21.4 \pm 0.6\%$). Из всех пород только опад сосны содержал небольшое количество Cu (2.13 мг/кг), что исключает возможность влияния этого фактора на содержание подвижной формы Cu в почве.

Таким образом, по сравнению с луговыми почвами, содержание подвижных форм Pb и Mn было больше под всеми лесными породами, Zn – под лиственницей и буком, Cu – под лиственницей и сосной. Основное влияние на содержание подвижных форм Pb и Mn оказывает кислотность, Zn – содержание Собщ и кислотность, тогда как подвижность Cu в большей степени зависит от гранулометрического состава почв.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ РАКОВИННЫХ АМЕБ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛИСТВЕННИЧКАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭВЕНКИИ

А.В. КОШКАРОВА, А.В. ГРЕНАДЕРОВА

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Лесные экосистемы Сибири имеют высокое экологическое значение, которое заключается в сохранении биологического разнообразия и регулировании климата планеты (Захарченко и др, 2016). Лиственничники Центральной Эвенкии характеризуются сплошным распределением многолетней мерзлоты, общая теплообеспеченность профиля почвы характеризуется резким вертикальным градиентом температуры (Прокушкин и др, 2002). Так в верхних слоях температура почвы во время отбора проб составляет +27,8 +30,7°C, а у минерального горизонта +4,40°C, также отмечен уровень залегания многолетней мерзлоты во время отбора проб и варьирует от 8 см до 1 м (Кошкарлова, 2018).

Сообщества раковинных амёб в мерзлотных почвах на территории Центральной Эвенкии на сегодняшний день изучены слабо и представляют особый интерес. В связи с этим представляется необходимым иметь данные о пространственном распределении тестацей на территории Центральной Эвенкии.

Материал почвенной подстилки и мохового очеса был отобран в июле 2018 года в лиственничнике лишайниково-багульниково-зеленомошном послойно из подгоризонтов: 1) Моховой очес и опад, мощностью 8 см (Оч.+L); 2) Нижележащий подгоризонт ферментации органического вещества (F); 3) F-H – переходный; 4) H – перегнойный; 5) A₂минеральный горизонт.

Для приготовления препаратов были использованы общепринятые методы; микроскопирование водной почвенной суспензии проводилось под бинокулярным световым микроскопом «Микромед 2» при ×200 и ×400-кратном увеличении с

использованием определителей (Мазей и др, 2006). Всего было изучено 5 проб и идентифицировано 20 видов и внутривидовых разновидностей раковинных амёб.

Наиболее обильными в данном микробиотопе выявлены такие виды как *Centropyxis sylvatica*, *Cyclopyxis eurystoma*, *Nebela tincta* и *Trinema lineare*. Вид *Trinema lineare* является ксерофилом, но также встречается при очень широком спектре обводненности среды (Курьина, 2016). Плотность раковинок в среднем составила 2644 экз/1 г в.с.в., этот показатель варьировал по глубине, но резко снизился у минерального горизонта.

В первом образце, представленном моховым очесом, отмечены следующие виды доминанты: *Centropyxis sylvatica* и *Corythion dubium*. В отличие от остальных четырех проб, только здесь выявлено высокое обилие вида *Euglypha rotunda*,

Наибольшая обильность раковинных амёб отмечена в ферментированном горизонте (3620 экз./г в.с.в.). Здесь, по сравнению с остальными подгоризонтами, выявлено повышенное обилие вида *Nebela tincta*. По данным имеющихся исследований (Курьина, 2017), этот вид является типичным для биотопов со стабильными условиями увлажнения. Так, Булатова У.А. отмечает что, в подгоризонте F условия увлажнения более стабильны, численность раковинок выше по сравнению с вышележащим горизонтом Оч+L, опад находится на начальных стадиях разложения и, соответственно, здесь содержится много органических веществ, а также больше бактерий и грибов, служащих пищей для амёб (Булатова,2016).

Вид *Nebela militaris* встретился только в ферментативном (переходном) слое и составил ядро доминантов. Также был отмечен вид *Centropyxis aculeata*, который также встретился только в данном образце и относится к группе гидрофилов (Курьина,2016).

Слой Н (перегнойный) характеризуется высоким обилием вида *Centropyxis sylvatica* с преобладанием мелкого эврибионтного вида *Assulina muscorum* (Чернышев,2010), который характерен для мхов и *Nebela collaris*.

Самая низкая численность отмечена в минеральном горизонте почвы (60 экз./г в.с.в.). Связано это, прежде всего с недостаточным количеством органики, грибов и бактерий. Видовой состав и плотность резко снижается, отмечен единственный представитель рода *Centropyxis* (*Centropyxis sylvatica*).

ЛИТЕРАТУРА:

- Захарченко Л. П. Целлюлозоразлагающая способность криогенных почв (Центральная Эвенкия) / Л. П. Захарченко, А. В. Климченко, И. В. Борисова, И. Н. Безкоровайная // Вестник красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2016. № 7 (118). – С. 74-81.
- Прокушкин С. Г. Температурный режим в лиственничниках на мерзлотных почвах Средней Сибири / С. Г. Прокушкин, А. П. Абаимов, А. С. Прокушкин // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. С. 34-45.
- Кошкарлова А. В. Восстановление сообществ раковинных амёб в почве лиственничников Эвенкии в первые годы после пожара / А. В. Кошкарлова // Изд-во Красноярского ГАУ. – Красноярск, 2018. – С. 73-77.

Мазей, Ю. А. Пресноводные раковинные амёбы / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 300 с.

Курьина И. В. Сообщества раковинных амёб (Rhizopoda, Testaceafilosea, Testacealobosea) в болотных местообитаниях после воздействия пожаров (юг Западной Сибири) / И. В. Курьина, Н. В. Климова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2016. № 3 (35). – С. 161-181.

Курьина И. В. Применение зооиндикаторов для реконструкции условий природной среды голоцена в торфяной залежи низинного болота / И. В. Курьина // Зоологический журнал. 2017. Т. 96, № 8. С. 973-986.

Чернышов В. А. Сообщества почвообитающих раковинных амёб в биогеоценозах подтаежной зоны Западной Сибири и их изменения вдоль ландшафтных катен / В. А. Чернышов, Ю. А. Мазей // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Естественные науки. – 2010 – № 17 (21). – С. 66–73.

Булатова У. А. Микростациональное распределение раковинных амёб в подстилке Тимирязевских сосняков (Томская обл.) / У. А. Булатова // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. 2011. № 25. С. 317–324.

РАДИАЛЬНАЯ И ЛАТЕРАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ

П. П. КРЕЧЕТОВ, О. В. ЧЕРНИЦОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Устойчивое функционирование лесных биоценозов поддерживается плодородием лесных почв, в значительной степени определяемым содержанием подвижных форм биофильных элементов. Цель данного исследования – изучение закономерностей радиальной и латеральной дифференциации доступных для растительности основных биофильных элементов в почвах и почвенном покрове таежно-лесных ландшафтов, а также выявление факторов и механизмов, контролирующих продуктивность лесных биоценозов.

Объектами исследования послужили элементарные ландшафты смешанных елово-пихтово-липовых папоротниково-кисличниковых лесов подзоны дерново-подзолистых почв на покровных бескарбонатных суглинках в Пермском Прикамье. Нами были использованы данные детальных почвенно-геохимических исследований, выполненных на экспериментальном участке площадью 600 м², приуроченном к водораздельным слабоувалистым поверхностям Предуральской равнины. На участке, с учетом рельефа и растительности, было заложено 28 почвенных разрезов глубиной до 150-200 м. Отбор почвенных образцов выполнялся из всех генетических горизонтов. В образцах были определены: гранулометрический состав (для 5 разрезов); величина pH; содержание гумуса; валовой азот; подвижные формы азота (NH₄⁺, NO₃⁺), калия и фосфора; обменные Ca²⁺ и Mg²⁺; обменные H⁺ и Al⁺. Общая база аналитических данных составила около 3000 единиц.

Для определения структуры биологического круговорота в смешанных хвойно-широколиственных лесах были проанализированы публикации по результатам исследований,

выполненных для таежной зоны Восточно-Европейской равнины. Обобщены данные о накоплении органической массы (т/га) и элементов питания (кг/га) в древостое хвойно-широколиственных лесов на дерново-подзолистых почвах, а также о среднем содержании азота и элементов питания в опаде (кг/га в год) для различных типов леса (Ремезов и др., 1959; Структура и продуктивность..., 1973; Базилевич, 1993; Бобкова, 1999; Регуляторная роль..., 2002; Дымов и др., 2012). Кроме того, по литературным данным установлены особенности возрастных изменений емкости и структуры биогеохимического круговорота (Структура и продуктивность..., 1973) и характер распределения тонких корней в различных фитоценозах по горизонтам почвы (в т/га сухой массы) (Абражко, 1971).

Радиальная (внутрипочвенная) и латеральная (катенарная) дифференциация содержания биофильных элементов анализировалась с применением геоинформационных технологий. На основе полевых детальных схем рельефа (микропонижений и микроповышений с максимальной разницей высот 1.5 м) и растительности (с отображением видового состава и возраста древостоя), а также морфологических описаний почвенных разрезов и данных гранулометрических анализов, была составлена почвенная карта участка, отражающая приуроченность различных видов почв к элементам микрорельефа. На участке выделено три основных вида дерново-палево-подзолистых почв: повышенно-гумусированные резко дифференцированные; повышенно-гумусные умеренно дифференцированные; высоко-гумусные слабо дифференцированные. На основе ГИС-анализа почвенные разрезы были сгруппированы по виду почв, и на основе усредненных значений для каждого вида были построены графики радиальной дифференциации биофильных элементов и других показателей (величина pH, содержание гумуса).

Анализ графиков радиальной дифференциации позволил выделить в профиле дерново-палево-подзолистых почв три зоны с геохимическими паттернами: гумусово-аккумулятивную (горизонты Ад, А1, А1А2), элювиальную (горизонты А2', А2'') и иллювиальную (горизонты А2В, В1, В2, В3, В4). Проанализированные показатели также были усреднены – в данном случае, для каждого разреза по выделенным зонам. В генетическом профиле дерново-палево-подзолистых почв установлено два максимума накопления подвижных форм биофильных элементов – в гумусово-аккумулятивной и иллювиальной зонах, причем в иллювиальной зоне их содержание выше в 1.5-2.5 раза, что может быть связано с их поступлением из элювиальной зоны в результате разрушения органическими кислотами биогенного происхождения минеральной фазы.

По схеме микрорельефа в ГИС была построена упрощенная цифровая модель рельефа и цифровые модели глубин залегания нижних границ выделенных зон и рассчитаны

мощности сгруппированных почвенных горизонтов, что позволило определить запасы биофильных элементов в почве. Методами пространственной интерполяции составлена серия электронных карт-схем средних для зон значений анализируемых показателей с целью картографического отображения их латеральной дифференциации. ГИС-анализ пространственного распределения показателей с учетом микрорельефа и видового состава растительности выявил, что дерново-палево-подзолистые почвы элювиальных ландшафтов с елово-пихтовой растительностью обеднены, а аккумулятивных с березово-липняковой растительностью относительно обогащены всеми биофильными элементами. В рассматриваемом ряду почв содержание азота отличается в 1.4-1.5, фосфора – в 2.6-8.4, обменных кальция и магния – в 1.8-2.9 раза.

Увеличение в рассматриваемом ряду экосистем содержания биофильных элементов подтверждается данными о накоплении органической массы (т/га) и массы биофильных элементов в фитомассе и опаде (кг/га) хвойно-широколиственных лесов. В зрелых древостоях наряду с увеличением запасов фитомассы (как надземной, так и корневой) в березово-липняковых лесах по сравнению с елово-пихтовыми почти в 3 раза увеличиваются запасы кальция, более чем в 2 раза магния и калия, в 2.4 раза – азота (Дымов и др., 2012). Установлено, что различия в биогенном поступлении элементов проявляются не только в гумусово-аккумулятивных, но и во всех почвенных горизонтах. Максимальное содержание подвижных форм калия, фосфора и обменных кальция и магния приурочено к иллювиальным горизонтам почв пониженных элементов рельефа под березово-липняковыми участками леса.

Возраст деревьев также оказывает влияние на содержание биофильных элементов в почвенном профиле. По данным Ремезова (1959) в липняке максимальное потребление калия и азота (50 и 75 кг/га) приходится на возраст 23 года; в осинниках – на 30 лет (100 и 125 кг/га); в ельниках – на 40 лет (45 и 50 кг/га). Максимальный возврат элементов с опадом в древостоях увеличивается с возрастом и практически компенсирует потребление этих элементов (Ремезов, 1959). Регулирующее значение в потреблении биофильных элементов имеет также различная глубина проникновения тонких сосущих корней в глубокие горизонты почв по мере увеличения возраста деревьев (Абражко, 1971). Можно предположить, что в зрелых древостоях хвойно-широколиственных лесов потребление биофильных элементов идет как из гумусово-аккумулятивной зоны, так и из иллювиальной зоны, что подтверждается полученными данными

Таким образом, в элементарных ландшафтах хвойно-широколиственных лесов на дерново-подзолистых почвах проявляется связь между видовым составом и возрастом

древесной растительности и распределением биофильных элементов в почвенном профиле и почвенном покрове.

ЛИТЕРАТУРА:

- Абражко М.А. Фитомасса и некоторые особенности жизнедеятельности корней ели в еловых лесах различной структуры и продуктивности. Автореф. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Л.:1971. 22 с.
- Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
- Бобкова К.С. Биологическая продуктивность лесов // В кн.: Леса Республики Коми. М.: Издательско-продюсерский центр «Дизайн. Информация. Картография», 1999. С. 40-54.
- Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственнично-хвойных насаждениях // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 7–18.
- Регуляторная роль почвы в функционировании таежных экосистем. М.: Наука, 2002. 364 с.
- Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах Европейской части СССР. М.: Изд-во Московского Университета, 1959. 282 с.
- Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. 311 с.

ОСОБЕННОСТИ КРУГОВОРОТА БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОЛУПУСТЫНИ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

Н.Ю. КУЛАКОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт лесоведения РАН,
Московская область

Известно, что степные и полупустынные биоценозы отличаются медленной скоростью разложения органического материала, поступающего на поверхность почвы. Скорость разложения подстилки контролирует в этих климатических условиях скорость круговорота биофильных элементов. Скорость разложения интродуцированных из более влажных районов растений может быть существенно ниже, чем в местах их естественных ареалов (Sanaullah et al, 2012). Создание лесных насаждений в полупустынной зоне приводит к изменениям массы, состава и морфологии растительного материала, поступающего на поверхность почвы, условий и скорости его разложения, что определяет существенные изменения круговорота биофильных элементов.

Одной из наиболее перспективных пород для создания насаждений на лугово-каштановых почвах региона является дуб черешчатый. Массивные насаждения дуба, созданные в 50-годы прошлого века на Джаныбекском стационаре ИЛАН РАН, успешно сохраняются в настоящее время. В задачи работы входило узнать, как отличаются масса поступающих с органическими остатками С, N, P, K, скорость удаления их из разлагающихся растительных остатков и объем депонирования этих элементов на поверхности почвы в

насаждении дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) от этих показателей в нативных экосистемах (степные и пустынные растительные сообщества).

На Джаныбекском стационаре ИЛАН РАН был заложен 4-летний опыт по разложению растительного материала. Исследовалась скорость разложения пяти видов растений: листья, стебли и соцветия с семенами злаков – типчака (*Festuca valesiaca* Gaudin) и ковыля (*Stipa lessingiana* Trin.&Rupr), однолетние побеги полукустарничков – полыни черной (*Artemisia pauciflora* Web) и прутняка (*Kochia prostrata* Schrad), опад дуба черешчатого. Выбранные злаки являются доминантами в естественных степных, а полукустарнички – в пустынных растительных ассоциациях.

Специальные сетчатые пакеты с растительным материалом фиксировали на поверхности почвы. Растения отбирались в конце вегетационного периода и не измельчались, чтобы воспроизвести условия разложения, складывающиеся в естественных условиях. Закладывалось по 6 пакетов каждого вида растений. Каждый год в конце вегетационного периода, из каждого пакета изымали часть образца для анализа. В изъятой части определяли массу и влажность, концентрацию С, N, P, K. Оставшуюся часть взвешивали, пересчитывали вес с учётом влажности, измеренной в изъятой части, и укладывали на прежнее место. Концентрацию С и N определяли на анализаторе элементного состава, P и K – рентгенфлуоресцентным методом (РФА).

Для оценки массы растительного опада в степных и пустынных фитоценозах воспользовались данными 60-летнего мониторинга динамики продуктивности, проводимом на Джаныбекском стационаре ИЛАН РАН (Сапанов, Сиземская, 2015), считая, что средняя многолетняя наземная продуктивность фитоценозов приблизительно соответствует величине среднего ежегодного поступления мортмассы на поверхность почвы. Учет опада дуба проводили с помощью опадоуловителей площадью 1 м² в трёх- и четырёхкратной повторности в 2014 и 2015 годах соответственно.

Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями показал, что скорость потери массы образцами на 47% ($F=73.27$ $p<0.001$ при F_k 2.28) определялась видом растительных остатков и не зависела от срока компостирования, что, вероятно, связано с влиянием морфологии растений на фазы разложения. Процесс потери массы образцами достаточно хорошо описывался и линейной и экспоненциальной аппроксимациями. За четыре года эксперимента наименьшая скорость потери массы отмечена у листьев дуба, причем скорость разложения этих образцов увеличивалась со временем: значения констант разложения (k), подсчитанные как $-\ln(M_t-1/M_t)/t$ (где t – время компостирования образца, а M – масса образца), увеличились от 0.02 в первый год до 0.2 в четвертый год компостирования, в

среднем за 4 года $k = 0.14$. У злаков скорость потери массы была наиболее высокой: константы разложения за 4 года имели значения 0.59-0.60. Скорость разложения у полукустарничков была немного ниже, чем у злаков, $k = 0.29-0.30$. В результате четырёхлетнего компостирования осталось менее 10% от первоначального веса злаков, 20-30% от веса кустарничков и около 60% от веса образцов листьев дуба.

Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями показал, что на содержание азота в образцах при компостировании влияет главным образом фактор времени 52% ($F = 84.4$ при $P < 0.001$, F критическое = 2.4), влияние вида растительных образцов незначительно – 11% ($F = 18.3$ при $P < 0.001$, F критическое = 2.4). На содержание углерода, наоборот, большее влияние оказал видовой состав – 47% от влияния всех факторов ($F = 74.9$ при $P < 0.001$), а воздействие фактора времени было меньше – 22% ($F = 43.5$ при $P < 0.001$). На содержание К влияние фактора времени (21.4%, $F = 126.4$; $P < 0.001$) и вида образцов (18.6%, $F = 109.9$; $P < 0.001$), было незначительным, а на содержание фосфора, которое оставалось достаточно постоянным в образцах, эти два параметра не влияли.

Запас элементов в образцах при разложении уменьшался. Исключение составили образцы листьев дуба, запас азота в которых увеличился до 130% к четвертому году компостирования. Скорость сокращения запасов элементов в образцах злаков и полукустарничков снижалась к концу эксперимента, что свидетельствовало, очевидно, о переходе процесса разложения в новую фазу (Berg, 2014), а в образцах листьев дуба увеличивалась, в среднем за 4 года оставаясь наименьшей в образцах листьев дуба и наибольшей в образцах злаков. После 4 лет компостирования процент оставшейся массы углерода в образцах листьев дуба был в 5.5 раза, фосфора – в 6 раз, калия – в 7.5 раз, выше, чем в образцах злаков.

Подсчитано, что в насаждении дуба черешчатого на поверхность почвы поступает столько же азота, как в степных растительных ассоциациях и в 1.2 – 1.3 раза меньше углерода, фосфора и калия; в 2 раза больше азота и в 3 раза больше С, Р, К, чем в пустынные экосистемы. Используя данные по ежегодному изменению запасов биофильных элементов в образцах растений-доминантов при компостировании, мы рассчитали массу элементов, сохраняющихся на поверхности почвы в разных экосистемах за 4 года: в подстилке насаждения дуба черешчатого депонируется в два раза больше С, N, Р и К, чем в естественных степных растительных ассоциациях и в 4 раза больше N, в 5 раз больше С и Р, в 7 раз больше К, чем в пустынных сообществах.

Особенности круговорота биофильных элементов отражаются на распределении их запасов в почвенном профиле. Отмечено увеличение запасов углерода в верхней 5-см части

гумусового горизонта лугово-каштановых почв под насаждением дуба в 1,7 раза, а азота – в 1,4 раза относительно лугово-каштановых почв под степной растительной ассоциацией.

Таким образом, и скорость накопления, и масса сохраняющихся на поверхности почвы С, N, P, K в насаждении дуба черешчатого значительно выше, чем в естественных растительных ассоциациях. При этом наиболее быстро из всех видов растительных остатков удаляется K, на втором месте углерод и фосфор, а наиболее медленно – азот. В подстилке дубового насаждения, в отличие от подстилок естественных экосистем, иммобилизация азота превышает вынос элемента.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-04-00246.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Сапанов М.К., Сиземская М.Л. Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. 2015. № 3. С. 307 – 320
- Berg B. Decomposition patterns for foliar litter: A theory for influencing factors // Soil Biol. Biochem. 2014. V. 78. P. 222–232
- Kulakova N. Impact of plant species on the formation of carbon and nitrogen stock in soils under semi-desert conditions // European Journal of Forest Research. 2012. Vol. 131. Issue 6. P. 1717-1726.
- Sanullah M et al. How does drought stress influence the decomposition of plant litter with contrasting quality in a grassland ecosystem? // Plant and Soil. 2012. Vol. 352. No. 1-2. P. 277-288.

ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ВАЛЕЖА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЕГО РАЗЛОЖЕНИЯ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОДЗОНЫ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ

Ю.В. КУПРИЯНОВА, Е.А. МИТИРЕВА, М.С. КАДУЛИН, Г.Н. КОПЦИК

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Валеж является важной частью лесных экосистем и существенной составляющей цикла углерода, выступая промежуточным звеном между запасами биомассы и альтернативными наземными, водными и атмосферными пулами (Harmon et al., 2011). Мертвые деревья выполняют многие ключевые функции в экосистемах: накопление органического вещества в почве (Nagemann et al., 2010), обеспечение среды обитания для организмов (Harmon et al., 2004), поддержание влажности в засушливые периоды, улучшение устойчивости склона и повышение стабильности поверхности почвы (Stevens, 1997) и др. Учет дыхания валежа как компонента гетеротрофного дыхания важен для определения углеродного баланса лесов (IPCC, 2014). Поэтому **целью** настоящего исследования были количественная оценка запасов валежа и интенсивности выделения CO₂ при его разложении в зависимости от породного состава и стадий разложения в лесных экосистемах.

Объекты исследования. Исследования проводили в летний период 2018 года на территории государственного природного заказника регионального значения «Звенигородская биостанция МГУ и карьер Сима» (ЗБС, Московская обл.). В качестве объектов исследования выбраны основные типы лесных биогеоценозов (БГЦ) на водораздельном плато: сосновая редица на глубокоподзолистой почве, елово-березовый лес на слабодерново-глубокоподзолистой почве, сосново-осиновая редица на слабодерново-мелкоподзолистой слабодифференцированной почве.

Методы исследования. Оценку запасов и массы валежа выполняли методом сплошного учета на фиксированных пробных площадях размером 30×40 м. При учете фиксировали все фрагменты древесных остатков диаметром более 2 см, у каждого фрагмента измеряли длину, диаметры основания и вершины, определяли породу и стадию разложения согласно классификации М.Е. Тарасова (2000). Расчет запасов валежа проводили с использованием формулы объема конуса. Скорость выделения CO₂ валежом определяли методом инкубации древесных фрагментов, извлеченных из бревен, с помощью закрытых камер с использованием ИК CO₂-газоанализатора AZ 7752 («AZ Instrument Corp.», Тайвань) в 6-7-кратной повторности для каждой породы и ее стадий разложения в каждом БГЦ. Одновременно измеряли температуру и влажность. Расчет скорости эмиссии CO₂ из фрагментов проводили по формуле Клайперона-Менделеева.

Результаты и обсуждение. Интенсивность эмиссии CO₂ с поверхности валежа определяется скоростью разложения древесных остатков дереворазрушающими грибами. В свою очередь, численность и активность организмов-деструкторов зависят от доступности и качества питательного субстрата (Мухин, Воронин, 2007).

Уровни выделения CO₂ мертвой древесиной сильно варьировали среди видов деревьев. Скорости эмиссии были в среднем выше для покрытосеменных (30.3 ± 10.0 мг С-CO₂/кг в час), чем для хвойных (9.9 ± 3.7 мг С-CO₂/кг в час). В особенности древесина *Betula pendula Roth* демонстрирует высокие уровни выделения CO₂ (38.2 ± 12.8 мг С-CO₂/кг в час). Валеж хвойных пород слабее выделяет CO₂ по причине высокого содержания фитонцидов и ингибирования активности ксилотрофов живицей свежесрубленных деревьев. Этот эффект проявляется на протяжении первых 2–3 лет после выпадения живого дерева (Иванов, Момот, 2016).

Поток диоксида углерода сильно изменчив у валежа всех стадий разложения. В сосновой редице интенсивность эмиссии исследуемых пород деревьев менялась от минимума на 1-й стадии разложения (6.3 ± 1.7 мг С-CO₂/кг в час) до максимума на 5-й (54.9 ± 17.6 мг С-CO₂/кг в час). Схожая картина наблюдалась в елово-березовом лесу и сосново-осиновой

редине до 4-й стадии разложения. Однако поток CO_2 на 5-й стадии разложения имел меньшие величины (28.3 ± 7.7 и 12.5 ± 3.6 мг С- CO_2 /кг в час), чем в сосновой речине. Наименьшую интенсивность эмиссии с поверхности валежа первой стадии разложения во всех типах леса можно объяснить тем, что на этой стадии древесина имеет ненарушенную структуру и труднодоступна для организмов-деструкторов и насекомых-ксилофагов. Затем по мере потери устойчивости древесины вследствие биохимических изменений и ее освоения интенсивность выделения CO_2 при разложении валежа к 3-4 стадии в елово-березовом лесу и сосново-осиновой речине и к 5-й стадии в сосновой речине растет. По всей вероятности, на этих стадиях древесные остатки как питательный субстрат обладают наибольшей доступностью для комплекса дереворазрушающих грибов и организмов. Численность микрои макроорганизмов сокращается по мере уменьшения питательности субстрата на 5-й стадии разложения древесных остатков в елово-березовом лесу и сосново-осиновой речине, чем обусловлен резкий спад эмиссии CO_2 , что, вероятно, связано с другим ходом микогенной деструкции древесины благодаря более низким освещенности и температуре, а также повышенной влажности. Очевидно, малая интенсивность потока CO_2 на 5-й стадии разложения валежа обусловлена завершающей стадией микогенного ксилолиза древесины, когда древесные остатки преобразуются в почвенный детрит. Расхождения потока CO_2 между стадиями разложения в исследуемых типах леса также могут быть связаны со сложностью точного отнесения древесных остатков к той или иной стадии разложения. Найденное в нашей работе соотношение стадий разложения валежа по средним уровням дыхания согласуется с литературными данными (Сафонов и др., 2015; Wu et al., 2010).

На участке сосновой речины площадью 1200 м² нами зафиксировано 66 поваленных деревьев разной степени разложенности. Масса валежа составила 22 т/га, большая часть фрагментов относилась к третьей стадии разложения. В елово-березовом лесу на такой же площади учтено 53 поваленных дерева разных стадий разложения; масса поваленных деревьев составила 32 т/га. Наибольшее количество – 87 поваленных деревьев – описано нами в сосново-осиновой речине; их масса равна 49 т/га. Такие величины свидетельствуют о высокой подверженности лесных экосистем ЗБС деструктивным воздействиям. На основе полученных величин запаса валежа разных стадий разложения были рассчитаны соответствующие им потоки CO_2 . Совокупная интенсивность эмиссии от разложения валежа в сосновой речине составила 23 мг/м² в час, елово-березовом лесу 54 мг/м² в час, сосново-осиновой речине 48 мг/м² в час, при этом заметно выделяется вклад 3-й стадии разложения древесных остатков. Полученный нами диапазон значений потока CO_2 от древесных остатков вполне согласуется с оценками в близких лесорастительных условиях южной тайги (Сафонов

и др., 2015). Сравнивая с оценками 286, 242 и 293 мг/м² в час для дыхания почв в пределах сосновой редины, елово-березового леса и сосново-осиновой редины, получим, что эмиссия от разложения валежа составляет от 8 до 22% от суммарной эмиссии CO₂ с поверхности почв в летний период. Эти величины согласуются с аналогичными за вегетационный сезон в зрелом вторичном твердолиственном умеренном лесу в Северной Америке (10%, Forrester et al., 2012) и в южнотаежном ельнике Валдайской возвышенности (23%, Сафонов и др., 2015).

Заключение. Таким образом, на примере четырех древесных пород – *Picea abies* (L.) *H.Karst.*, *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* f. *vulgaris* Ig. *Vassil.* – установлено, что степень деструкции валежа – важный фактор, определяющий пространственную вариацию с его поверхности удельных потоков диоксида углерода. Изменение эмиссии CO₂ в ходе разложения древесных остатков определяется этапами колонизации древесного субстрата микродеструкторами: на первом этапе эмиссии происходит прогрессирующее освоение все более значительного объема субстрата по отношению к единице его площади, а на втором деградация (потеря качества и количества) субстрата, которое может усугубляться ухудшением абиотических условий (например, излишним повышением влажности субстрата). Эмиссионная активность крупных древесных остатков может существенно влиять на количественную оценку потоков диоксида углерода и его баланса в лесных экосистемах.

**Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №18-04-01028\19 «Техногенное загрязнение, деградация почв, ремедиация, никель, медь, мобильность, биодоступность, токсичность, гуминовые препараты, кислотность, растения, микроорганизмы».*

ЛИТЕРАТУРА:

- Иванов А. В., Момот А. А. Эмиссия углерода с поверхности почв пойменных лесов на юге Приморского края // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 1 (29).
- Мухин В.А., Воронин П.Ю. Микогенное разложение древесины и эмиссия углерода в лесных экосистемах // Экология. 2007. № 1. С. 24–29.
- Сафонов С.С., Карелин Д.В., Грабар В.А., Латышев Б.А., Грабовский В.И., Уварова Н.Е., Замолодчиков Д.Г., Коротков В.Н., Гитарский М.Л. Эмиссия углерода от разложения валежа в южнотаежном ельнике // Лесоведение. 2015. № 5. С. 44-49.
- Тарасов М.Е. Роль крупного древесного детрита в балансе углерода лесных экосистем Ленинградской области // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 21 с.
- Forrester J.A., Mladenoff D.J., Gower S.T., Stoffel J.L. Interactions of temperature and moisture with respiration from coarse woody debris in experimental forest canopy gaps // Forest Ecol. Manag. 2012. V. 265. P. 124–132.
- Hagemann U., Moroni M.T., Gleissner J., Makeschin. F. Disturbance history influences downed woody debris and soil respiration // Forest Ecol. Manag. 2010. V. 260. No. 10. P. 1762-1772.
- Harmon M.E., Bond-Lamberty B., Tang J., Vargas R. Heterotrophic respiration in disturbed forests: a review with examples from North America. J. Geophys. Res. 2011. V. 116. P. 1-17.
- Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack Jr. K., Cummins K.W. Ecology of woody debris in temperate ecosystems. Advances in Ecological Research. 2004. V. 34. P. 59–234.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC. Geneva. Switzerland. 151 p.
Stevens V., The Ecological Role of Coarse Woody Debris, An Overview of the Ecological Importance of CWD in BC Forests, Working Paper 30, No. British Columbia: Ministry of Forest Research Program, 1997.
Wu J., Zhang X., Wang H., Sun J., Guan D. Respiration of downed logs in an old-growth temperate forest in north-eastern China // Scand. J. Forest Res. 2010. V. 25. No. 6. P. 500–506.

ПОЧВЕННЫЕ МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА КАК ИНДИКАТОР ТРАНСФОРМАЦИИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ В ПРОЦЕССЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ СУКЦЕССИЙ

Е.М. ЛАПТЕВА¹, Ю.В. ВИНОГРАДОВА¹, В.А. КОВАЛЕВА¹, Е.М. ПЕРМИНОВА¹,
Э.А. ГЕНРИХ²

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

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

Изменение состава растительности в процессе постагрогенного развития залежных участков влечет за собой глубокие изменения как структуры почв, так и их физико-химических свойств (Владыченский и др., 2013; Дымов, Михайлова, 2017). Одним из наиболее чувствительных и динамичных показателей процесса почвообразования в меняющихся условиях среды является биологическая активность почвы, которая в значительной степени определяется структурой микробных комплексов (Эмер и др., 2017; Kang et al., 2018). Цель данной работы заключалась в выявлении закономерностей изменения функциональных характеристик микробных комплексов подзолистых почв в ходе демулационной сукцессии под влиянием агрогенного и постагрогенного воздействия.

Исследования проводили в окрестностях пос. Граддор (Республика Коми, МО МР «Сыктывдинский район», подзона средней тайги). Объектами исследования послужили почвы сосново-елового леса и бывших пахотных угодий, выведенных из сельскохозяйственного оборота в начале 90-х гг. прошлого столетия, – мелколиственного молодняка (березняк разнотравный) и луговой залежи (ежово-луговоовсянищевое сообщество). Геоботанические описания и отбор почвенных проб осуществляли в июне 2016. Физико-химические и микробиологические исследования проводили в соответствии с общепринятыми в почвоведении (Теория и практика..., 2006) и почвенной микробиологии (Методы..., 1991) методами. Пробы почв для физико-химических анализов и микробиологических исследований отбирали в соответствии с генетическими горизонтами из опорных разрезов.

Специфической особенностью рассмотренных почв является их формирование на карбонатных моренных суглинках. Обломки карбонатов в профилях всех рассмотренных

почв встречаются, начиная с глубины 40–50 см. Агрогенная и постагрогенная трансформация подзолистых почв, развитых на карбонатной морене, обусловила соответствующие изменения морфологического строения верхней части профиля с обособлением дернового и гумусоаккумулятивного горизонтов. Их физико-химические свойства в настоящее время определяются спецификой современного использования данных участков (наличие или отсутствие периодического сенокосения) и характером сформировавшегося растительного сообщества (мелколиственный молодняк, луговая залежь).

Наибольшей численностью микроорганизмов характеризуются на всех рассмотренных участках верхние органогенные горизонты почв. Численность бактерий в горизонте лесной подстилки сосново-елового леса составила 1.25 ± 0.5 млрд.кл/г а.с.п., в верхнем горизонте почвы луга (0-5 см) – 13.20 ± 2.15 млрд.кл/г а.с.п., в лесной подстилке почвы молодого березняка – 0.25 ± 0.06 млрд.кл/г а.с.п. Максимальная длина грибного мицелия выявлена в подстилке почвы сосново-елового леса. В среднем она составила порядка 3400 м/г а.с.п. В почве мелколиственного молодняка она на порядок, а в почве луга – на два порядка ниже. Отличительной особенностью постагрогенных почв является присутствие в почвах как живого, так и мертвого мицелия. Характерной особенностью почвы луговой залежи является полное отсутствие мицелия базидиальных грибов, в почве березняка разнотравного мицелий базидиальных грибов обнаруживается в верхней части старопашотного горизонта.

Максимальная величина микробной биомассы (10030.7 мкг/г а.с.п.) также отмечена в почве сосново-елового леса. В почве березняка она характеризуется величиной 1843.4 мкг/г а.с.п, в почве луга – 827.5 мкг/г а.с.п. Основной вклад в общую биомассу микроорганизмов во всех исследованных почвах вносят эукариоты. Доля прокариотических клеток составляет от 0.1% в минеральной части почвы до 31.9% в верхнем дерновом горизонте лугового сообщества, в лесных подстилках этот показатель равен 0.2%. В почвах лесных сообществ в морфологической структуре микроскопических грибов основную роль играет грибной мицелий (86.2-95.3%). В почве луга повышается вклад спор грибов (56.9 %).

Достаточно четкую картину в различиях микробных сообществ демонстрирует относительное содержание эколого-трофических групп микроорганизмов. Органогенные горизонты всех почв (лесная подстилка сосново-елового леса и бывшие пахотные горизонты залежных почв) близки по соотношению различных групп микроорганизмов. Однако в минеральных горизонтах постагрогенных почв возрастает доля олиготрофной микрофлоры и актиномицетов, а в почве листовенного молодняка – микроскопических грибов, учитываемых на среде Чапека. Расчет коэффициентов олиготрофности подтверждает активизацию в

структуре микробных сообществ в почвах залежных участков бактерий, не требовательных к условиям питания.

Полученные результаты свидетельствуют о перераспределении содержания различных групп микроорганизмов в почвах в процессе постагрогенного развития растительных сообществ. Численность и соотношение биомассы различных групп микроорганизмов могут быть использованы для оценки состояния почв постагрогенных экосистем на современном этапе их трансформации. В залежных почвах снижается величина микробной биомассы за счет уменьшения длины грибного мицелия, возрастает вклад в суммарную биомассу прокариот и спор грибов, отмечается возрастание роли актиномицетов и бактерий олиготрофного комплекса в эколого-трофической структуре микробных сообществ. При переходе от луговой стадии залежи к формированию древесного полога увеличивается доля грибного мицелия и значительно снижается вклад в структуру микробной биомассы прокариот.

**Работа выполнена в рамках программы УрО РАН № 18-8-49-17 «Продуктивность сельскохозяйственных культур и ее связь с особенностями трансформации и стабилизации почвенного органического вещества в пахотных угодьях Европейского Северо-Востока (на примере средней тайги Республики Коми)».*

ЛИТЕРАТУРА:

- Владыченский А. С., Телеснина В. М., Румянцева К. А., Чалая Т. А. Органическое вещество и биологическая активность постагрогенных почв южной тайги на примере (Костромской области) // Почвоведение. 2013. Т. 46, №5. С. 518–529.
- Дымов А. А., Михайлова Е. Н. Свойства лесных и постагрогенных почв, развивающихся на песчаных и суглинистых отложениях Республики Коми // Известия Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2017. №3. С. 24–33.
- Эмер Н. Р., Костина Н. В., Голиченков М. В., Нетрусов А. И. Динамика активности денитрификации и аммонификации в залежной и интенсивно возделываемой серой лесной почве (Тулская область) // Почвоведение. 2017. №4. С. 449–456.
- Kang H., Gao H., Yu W., Yi Y., Wang Y., Ning M. (2018). Changes in soil microbial community structure and function after afforestation depend on species and age: Case study in a subtropical alluvial island. *Science of the Total Environment.*, 625, pp. 1423-1432.
- Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. Москва, Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

СПЕЦИФИКА МИКРОБНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ ЕЛИ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Л.В. ЛЫСАК, Е.В. ЛАПЫГИНА

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, г. Москва

В прикорневой зоне древесных растений формируются специфические локусы (ризоплана, ризосфера, микоризосфера) взаимодействия корней растений с почвенными микроорганизмами. Прикорневая зона – это зона повышенной биологической активности, именно здесь с максимальной интенсивностью должны осуществляться процессы взаимодействия биоты с минеральными компонентами почвы. Однако исследования по изучению биологической активности (численность отдельных групп микроорганизмов, разнообразие и структура эукариотных и прокариотных сообществ, интенсивность протекания процессов трансформации углерода и азота) в прикорневой зоне древесных растений немногочисленны и фрагментарны, хотя актуальность их несомненна.

В соответствии с вышесказанным, целью нашей работы было изучение некоторых микробиологических характеристик почвы в прикорневой зоне ели в природных условиях, а также сопоставление их с химическими свойствами почвы в этом локусе. Исследования проводились на территории Центрального Лесного государственного природного биосферного заповедника (Тверская область, Нелидовский район) в условиях ненарушенного антропогенной деятельностью южно-таежного ландшафта под смешанным лесом с преобладанием ели (*Picea abies*). Анализировались образцы почвы из ризосферы и внеризосферного пространства елей 15-20-летнего возраста (горизонт AEL, основная масса корней ели сосредоточена в этом горизонте).

Показатели общей численности бактерий и длину жизнеспособного грибного мицелия определяли прямым микроскопическим методом после окраски почвенной суспензии флуоресцентным красителем акридином оранжевым (Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991). Численность и таксономический состав сапротрофного бактериального комплексов исследовали методом посева почвенной суспензии на агаризованную глюкозо-пептонно-дрожжевую сред (Лысак и др., 2003). Актуальную и потенциальную активность азотфиксации почвы определяли с помощью ацетиленового газохроматографического метода (Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991).

Почва ризосферы по сравнению с почвой внеризосферного пространства характеризовалась более высокими показателями общей численности бактерий и большей

длиной жизнеспособного грибного мицелия. Показатели общей численности бактерий в ризосфере превышали те же показатели в образцах внеризосферной почвы почти в два раза, 5.2 и 3.2 млрд. клеток в 1 г соответственно. Длина жизнеспособного мицелия также была выше в образцах ризосферы по сравнению с внеризосферным пространством, 172 и 140 м в 1 г почвы соответственно. Численность сапротрофных бактерий в ризосфере также была выше, чем во внеризосферном пространстве. Полученные результаты свидетельствуют о заметном положительном влиянии микоризированных корней ели на развитие бактерий и мицелия грибов, то есть о проявлении хорошо известного «ризосферного эффекта». Структура сапротрофного бактериального комплекса исследуемых образцов ризосферы и внеризосферного пространства в целом характеризуется близким составом на уровне крупных таксонов. Доминантами в обоих локусах являются бактерии рода *Bacillus* (гидролитики, участвующие в процессах разложения различных органических полимеров). Явные отличия между почвой ризосферы и внеризосферного пространства отмечены на уровне субдоминантов, группы среднего обилия и минорных компонентов. Так, в ризосфере субдоминантами выступали бактерии рода *Mucosoccus* (активные деструкторы целлюлозы и других полисахаридов). Во внеризосферном пространстве субдоминанты представлены родом *Arthrobacter* (типичный педобионт). В ризосфере присутствует бактерии рода *Pseudomonas*, «бактерии-хелперы», способствующие формированию эктомикоризного симбиоза, а также представители рода *Rhodococcus*, что, видимо, связано с повышенным содержанием в исследованной ризосферной почве бензолкарбоновых кислот, которые активно метаболизируются родококками (Соколова и др., 2015). Различия наблюдаются также в группе минорных компонентов прокариотного сообщества, которые в ризосфере представлены родами *Chromobacterium*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Polyangium* и гамма-протеобактериями, а вне микоризосферы – гамма-протеобактериями. Следует отметить, что родовое разнообразие гамма-протеобактерий в почве ризосферы было выше, чем во внеризосферном пространстве, однако детальная родовая идентификация нами не проводилось и мы можем отметить этот факт только как тенденцию. В целом, почва ризосферы характеризовалась более разнообразным составом сапротрофного бактериального комплекса, чем почва внеризосферного пространства. Это связано, прежде всего, с постоянным поступлением в ризосферу корневых экссудатов, в составе которых преобладают сахара, полисахариды, органические кислоты, аминокислоты, пептиды и протеины, а также сигнальные метаболиты, обеспечивающие коммуникационные контакты между корнем и микроорганизмами.

В образцах почвы ризосферы и внеризосферного пространства была также определена активность актуальной и потенциальной азотфиксации. Процесс азотфиксации осуществляется только бактериями и свидетельствует об активности бактериальной компоненты микробного сообщества почвы. Интенсивность актуальной и потенциальной азотфиксации в почве ризосферы была в 3 раза выше, чем во внеризосферном пространстве, 1.7 и 0.54 мкг C_2H_4 /г почвы в сут. соответственно. Высокая интенсивность азотфиксации в ризосфере коррелирует с более высокими показателями общей численности бактерий, что позволяет предположить, что бактерии в этом локусе находятся в активном состоянии за счет поступления корневых экссудатов растения. Как видно из представленных микробиологических характеристик, для почвы ризосферы свойственны более высокие показатели общей численности бактерий, длины жизнеспособного грибного мицелия, активности актуальной и потенциальной азотфиксации, обилия и разнообразия сапротрофного бактериального комплекса. Особого внимания заслуживает значительное содержание в ризосфере бактерий рода *Pseudomonas*, играющего значительную роль в формировании эктомикоризного симбиоза.

Проведенные исследования химических свойств почвы в образцах, для которых были получены микробиологические характеристики, показали, что почва ризосферы по сравнению с почвой внеризосферного пространства характеризовалась более высоким содержанием Сорг. (в почве в целом и в тонко-пылевой фракции), повышенным содержанием бензолкарбоновых кислот (бензойная, 4-гидроксibenзойная, феруловая, п-кумаровая, салициловая) и более глубокими трансформационными изменениями во фракции глинистых минералов (иллиты и смешанослойные иллит-сметитовые минералы) (Соколова и др., 2015; 2018).

Сопоставление полученных микробиологических характеристик с химическими свойствами почвы ризосферы и внеризосферного пространства позволяет сделать вывод об активном воздействии микроорганизмов на почвенные процессы, протекающие вблизи микоризированных корней ели.

ЛИТЕРАТУРА:

- Лысак Л.В., Добровольская Т.Г., Скворцова И.Н. Методы оценки бактериального разнообразия почв и идентификации почвенных бактерий (учебное пособие) М.: МАКС Пресс. 2003. 120 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ. 1991. 303 с.
- Соколова Т.А., Толпешта И.И., Лысак Л.В., Чалова Т.С. Специфика некоторых свойств почвы в ризосфере ели в горизонте АЕЛ подзолистой почвы // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2015. вып. 4. С. 3-10.
- Соколова Т.А., Толпешта И.И., Лысак Л.В., Ю.А. Завгородняя, Т.С. Чалова, М.М. Карпунин, Ю.Г. Изосимова. Биологические характеристики и содержание подвижных соединений Fe, Al и Si в ризосфере ели в подзолистой почве//Почвоведение. 2018. №11. С. 1330-1339.

К ИЗУЧЕНИЮ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОГРЕБЕННЫХ ТРУПОВ

С.Н. ЛЯБЗИНА¹, А.Н. ПРИХОДЬКО², В.Л. ПОПОВ³

¹Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

²Бюро судебно-медицинской экспертизы Республики Карелия, г. Петрозаводск

³Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург

Разрушение трупов чаще всего происходит при участии специализированного комплекса насекомых (двукрылых и жесткокрылых), которые осуществляют практически полную переработку тканей. Разнообразие насекомых на трупах находящихся на поверхности земли выявлено во многих странах (Payne, 1965; Anton et al., 2011; Лябзина и др., 2019 и др.). Напротив, исследования погребенных трупов остаются до сих пор слабо изученными и в большей степени направлены для оценки установления давности захоронения.

Разложение погребенных трупов осуществляется за счет эдафического и экологического воздействия. На таких трупах видовой состав посетителей ограничен, чем на поверхности, а также скорость подземного разложения существенно ниже. На глубине 10–15 см в подзолистых почвах биоценозах ельника зеленомошного на потрошенной тушке курицы (массой около 1.5 кг) в наибольшем числе встречаются мелкие стафилиниды (*Atheta* spp.), жук-навозник (*Geotrupes stercorosus* Scriba, 1791) и личинки настоящих мух (*Muscina* spp.). Для некоторых некрофильных насекомых трупы, которые похоронены даже под несколькими сантиметрами почвы, являются существенной преградой для массовой колонизации. Например, в незначительном количестве могут встречаться пупарии серых мясных мух (*Sarcophagidae*) (Magiani, 2014).

Почва также ограничивает интенсивное влияние на труп ряда факторов окружающей среды – прямой солнечной радиации и осадков, что значительно затягивает деструкцию мягких тканей.

В процессе распада трупа, находящегося в земле можно выделить две основные стадии – разрушение мягких тканей и разрушение костной ткани. Продолжительность каждой из них неодинакова: первая стадия протекает довольно быстро и заканчивается в короткие сроки в сравнении со второй. Например, мягкие ткани тушки курицы разлагаются около трех месяцев, костная ткань сохраняется более длительно и через год изменяется в окраске, приобретая зеленоватоили желтовато-серые оттенки.

В судебно-медицинской практике многие авторы о сроках скелетирования используют критерий состояния костной ткани, поскольку изменения в ней происходят крайне медленно (Попов, 1994 и др.). Например, если кости не лишены хрящей, а в центральном канале

имеется костный мозг, то давность нахождения может составлять 5–10 лет. Время появления видимых признаков распада костной ткани и процесса разложения зависит от физико-химических свойств почвы – прежде все от структуры и состава. Например, в глинистых почвах вследствие плохой аэрации и высокой влажности процесс разложения замедляется, и кости могут сохраняться бесконечно долго. Разложение трупа в суглинистых песках и песчаных почвах более значительно, чем во влажном черноземе.

Немаловажную роль в утилизации вещества выполняют микроорганизмы. Отмечено, что основную роль выполняют микроорганизмы, живущие в растительном перегное (Рубежанский, 1978). Состав органического субстрата со временем становится идентичным составу гумуса и микрофлора трупа может быть идентичной микрофлоре перегноя растительного происхождения. Однако привести полный микробиологический состав участвующих в разложении нельзя. Традиционно применяемые методы исследования позволяют обнаружить не более 20 % микробиома трупа. Многие представители гнилостных азотистых и других микроорганизмов при разложении белковых веществ, способны образовывать различные химические соединения.

ЛИТЕРАТУРА:

- Лябзина С.Н., Лаврукова О.С., Приходько А.Н., Азовский А.И., Попов В.Л. Энтомокомплекс трупов крупных животных и особенности разложения на севере Европейской части России // Зоологический журнал. 2019. № 6. С. 616-627.
- Попов В.Л. Судебная медицина. Санкт-Петербург: ВМА, 1994. 287 с.
- Рубежанский А.Ф. Определение по костным останкам давности захоронения трупа. Москва: Медицина, 1978. 120 с.
- Anton E. Beetles and flies collected on pig carrion in an experimental setting in Thuringia and their forensic implications // Med. Vet. Entomol. 2011. V.25. P. 353-364.
- Mariani R., Garcia-Mancuso R., Varela G.L., Inda A.M Entomofauna of a buried body: Study of the exhumation of a human cadaver in Buenos Aires, Argentina // Forensic Science International. 2014. V.237. P. 19-26.
- Payne J.A. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus // Ecology. 1965. V.46. P. 592-602.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ПОЧВ СУХОЙ СТЕПИ

О.Л. МАКЕЕВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Красноярский Государственный Аграрный Университет

Искусственное лесоразведение с целью сохранения и улучшения состояния почв в засушливых степных районах нашей страны насчитывает уже более трех веков. Изучение влияния лесных насаждений на свойства почв особенно актуально в связи с усилением процесса опустынивания, которому подвержены 35 регионов России (Чупрова, Кураченко,

2018). На территории республики Хакасия, где проводятся наши исследования, в сильной степени подвержены процессам дефляции девять районов (Чебочаков, 2003).

В конце семидесятых годов прошлого века с целью разработки биоэкологических технологий для создания устойчивых лечебно-оздоровительных и защитных насаждений в республике Хакасия на территории Ширинской опытной базы Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН были осуществлены посадки искусственных лесных насаждений, организованных в биодендрогруппы (БДГ). Они состоят из различных эдификаторных и соподчиненных видов древесных и кустарниковых растений. Несмотря на то, что положительное воздействие древесной растительности на почвообразовательные процессы в засушливых условиях Хакасии подтверждено работами многих авторов (Савостьянов, 2016), исследование влияния на свойства почвы поливидовых искусственных лесных насаждений на территории Ширинской опытной базы проводятся впервые.

Цель исследований: оценка эколого-фитоценотического воздействия искусственных лесных насаждений на некоторые свойства сухостепных почв.

В качестве объектов исследования выбраны 10 биодендрогрупп, где эдификаторную функцию выполняют древесные виды: *Ulmus pumila* (БДГ №1, 2), *Betula pendula Roth* (БДГ №7), *Larix sibirica* (БДГ №9), *Populus* (БДГ №10), *Populus tremula* (БДГ №3,4,5), *Pinus sylvestris* (БДГ №8), *Prunus maackii* (БДГ №6). Соподчиненными являются кустарниковые виды, представленные в различных сочетаниях: *Berberis vulgaris L.*, *Crataegus oxyacantha*, *Lonicera tatarica*, *Caragana*, *Salix acutifolia Willd.*, *Frangula*, *Hippophae*, *Sorbus aucuparia*, *Ribes diacanthum*, *Syringa vulgaris*, *Spiraea*, *Prunus virginiana*, *Rosa*.

Для сравнения и оценки воздействия искусственных лесных насаждений на свойства почв сухой Ширинской степи в непосредственной близости от биодендрогрупп был выбран участок естественного степного фитоценоза.

В течение вегетационных сезонов 2016-2018гг. отбирались почвенные образцы из слоев 0-20 и 20-40см с целью определения: содержания основных питательных элементов (мг/кг почвы), содержания общей влаги (%), структурного состава почвы (агрономически ценные фракции АЦФ, %), плотности сложения (г/см³). Учитывали наличие и запасы подстилки (т/га), запасы надземной травянистой фитомассы (т/га), численность бактерий и микромицетов (КОЕ, тыс/г почвы).

Биогеоценотические поля различных эдификаторных видов по-разному влияют на свойства почвы, что обусловлено особенностями развития корневой системы, количеством и качеством опада, а также микробиотой, свойственной для того или иного вида растений (Карпачевский, 1995).

Почвы в районе исследования агрозоны аккумулятивно-карбонатные темные с укороченным гумусовым горизонтом, имеющие нейтральную реакцию. В засушливом 2017г. было установлено увеличение степени щелочности почв за счет подтягивания карбонатов с восходящими токами влаги. В некоторых слоях почвы величина рН (водн.) составляла около 8 единиц. Нужно отметить, что наличие в составе биодендрогрупп №8 и №9 сосны (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) способствует подкислению почвы за счет хвойного опада.

Очевидно различное влияние растений в составе БДГ на содержание влаги в почве. Наибольшее содержание почвенной влаги обнаружено под объектами № 3, 4, 5, 6. В первых трех биодендрогруппах в качестве эдификаторного вида выступает осина (*Populus tremula*). За период исследования максимальная влажность зафиксирована в верхнем слое почвы под БДГ №6 (26.8%), где эдификаторный вид черемуха Маака (*Prunus maackii*).

В системе почва – растение на глубине ниже 20 см замедляется динамика питательных элементов. Воздействие растений на почву наиболее сильно в верхнем биогенном слое почвы (Карпачевский, 1995). Выявлено, что искусственные насаждения способствуют аккумуляции основных элементов питания (N-NO₃, N-NH₄, P₂O₅, K₂O) в слое почвы 0-20 см. Содержание конкретных элементов в БДГ зависит от увлажненности почвы и величины рН, основных показателей, влияющих на процессы минерализации, в том числе на нитрификацию.

Водный и воздушный почвенные режимы, биологическая активность во многом определяется структурным состоянием почвы (Артемьева, 2010). Почвы под искусственными насаждениями по содержанию АЦФ превосходят контрольные участки. Отличное структурное состояние по содержанию АЦФ зафиксированы в почве под объектами №3, 4 и 9 (95-96%), где эдификаторными видами являются осина (*Populus tremula*) и лиственница сибирская (*Larix sibirica*). В почве естественного степного фитоценоза снижается содержание АЦФ, здесь установлена наибольшая доля глыбистой фракции (до 26.6%) и пыли (до 2.4%). Почва контрольного участка характеризуется более плотным сложением (1.57 г/см³). Под искусственными насаждениями плотность сложения не превышает 1.32 г/см³, а наиболее рыхлая почва под БДГ №6 (0.89 г/см³), в состав которой входит черемуха Маака (*Prunus maackii*) и соподчиненные ей яблоня (*Malus baccata*) и жимолость татарская (*Lonicera tatarica*).

Под искусственными насаждениями формируется подстилка. На контрольном участке и в БДГ №1, где эдификаторную функцию выполняет вяз (*Ulmus pumila*), подстилка отсутствует. За счет грубого, медленно разлагающегося опада сосны наибольшие запасы подстилки (10,0т/га) формируются на объекте №8. В этой же БДГ во все годы исследования

зафиксированы наибольшие запасы надземной травянистой фитомассы по сравнению с другими объектами искусственных насаждений. Растительные остатки, образующие подстилку, создают экологическую микронишу для существования почвенной микробиоты (Руссель, 1977). В почвах под биодендрогруппами отмечено снижение доли бактерий по отношению к микроскопическим грибам. Наибольшая численность микромицетов зафиксирована в БДГ №8 и №9 с хвойными видами, чему способствует формирование наибольших запасов подстилки и подкисление почвы продуктами разложения опада.

Свидетельством трансформации почв под искусственными насаждениями и приобретения ими «лесных признаков» может служить появление шляпочных грибов, а в составе травянистой растительности представителей лесной флоры, таких как герань лесная (*Geranium sylvaticum*), василистник (*Thalictrum*) и другие.

Таким образом, очевидна почвоулучшающая роль искусственных лесных насаждений в функционировании сухостепных почв. Изменение физических свойств почвы (влажность, структурный состав, плотность сложения), величины рН и образование подстилки способствует увеличению доли микромицетов, служит толчком к увеличению биоразнообразия за счет появления новых, нехарактерных для зоны исследования представителей травянистой растительности. Это может служить доказательством существенного влияния древесной и кустарниковой растительности на сухостепные почвы и характеризует данные искусственные биогеоценозы как экологически устойчивые.

ЛИТЕРАТУРА:

- Артемьева З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. Москва, Геос, 2010. 5с.
Карпачевский Л.О. Роль биоценоза в формировании почв // Доклад на XII ежегодном чтении памяти акад. В.Н. Сукачева. Москва, Наука, 1995. С.37-45.
Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы. Москва, Колосс, 1977. С. 24-26 с.
Савостьянов В.К. Комплексная мелиорация почв засушливых территорий Сибири, часть 1. Абакан, 2016. 4 с.
Чебоचाков, Е.Я. Совершенствование почвозащитного степного земледелия Хакасии. Абакан, 2003. 38 с.
Чупрова, В.В., Кураченко Н.Л. Устойчивость почв к экзогенным воздействиям. Красноярск, КрасГАУ, 2018. 13с.

ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В РАЗЛАГАЮЩЕЙСЯ ДРЕВЕСИНЕ

С.В. МАКСИМОВИЧ¹, И.В. ЕВДОКИМОВ², А.В. КУРАКОВ¹, М.В. ГОРЛЕНКО¹,
Н.В. КОСТИНА¹, А.Е. ИВАНОВА^{1,3}, А.Л. СТЕПАНОВ¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²ФГБУН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, Пущино.

³Институт проблем эволюции и экологии им. Северцова, Москва

Введение. Мертвая древесина является вторым по объемам после почв наземным резервуаром длительного депонирования связанного углерода (Кудяров и др., 2007). Преобразование растительных остатков состоит из взаимосвязанных процессов разложения и гумификации, скорость которых определяется деятельностью микроорганизмов. При разложении опада и крупных древесных остатков (КДО) обеспечивается накопление и поддержание запасов органических веществ и соединений минерального питания растений в лесных почвах, формируется один из основных потоков углерода в атмосферу. Целью нашего исследования было оценить функциональную активность и участие разных групп микроорганизмов в разложении растительных остатков *Picea abies* H.KARST. и *Betula pendula* ROTM как наиболее распространенных пород в лесных экосистемах зоны средней тайги.

Материалы и методы. Образцы КДО ели обыкновенной всех пяти стадий разложения были отобраны в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике (Тверская обл.) в 2014-2015 гг. Образцы КДО березы повислой всех пяти стадий разложения отбирали в 3км к востоку от г.Ногинска (Московская обл.) в 2018г. Определяли базальное и субстрат-индуцированное дыхание (с хроматографическим окончанием), характеризующие общую микробную биомассу; актуальную и потенциальную азотфиксацию; актуальную денитрификацию. Для характеристики спектров потребления питательных субстратов бактериальным и грибным сообществами использовали метод мультисубстратного тестирования (Горленко, Кожевин, 2005; Данилогорская и др., 2015).

Результаты. Выявлены максимальные скорости дыхания для микробного сообщества на III и VI стадиях разложения древесины ели, что, возможно, было связано с накоплением промежуточных продуктов разложения целлюлозы и с развитием ряда быстрорастущих грибов, в том числе, целлюлозолитических грибов из рода *Trichoderma*. Активность азотфиксации и денитрификации была минимальной на I стадии, возрастала на

промежуточных стадиях разложения, и снова снижалась на последней V стадии, где была сопоставима с уровнем активности собственно почвенного микробного сообщества.

Анализ спектров потребления субстратов бактериальным сообществом в разлагающемся валеже выявил активное потребление сахаров и полимерных соединений, но слабое спиртов и органических кислот. Активность усвоения субстратов бактериями постепенно возрастала в ходе сукцессии, но не достигала значений, характерных для собственно почвенного сообщества.

Интенсивность использования грибным сообществом различных соединений, за исключением органических кислот, снижалась на протяжении первых трех стадий. На IV стадии наблюдали двукратное (и более) возрастание потребления сахаров, полимеров и азотсодержащих соединений. На V стадии потребление сахаров и азотсодержащих веществ снижалось, потребление же полимеров продолжало расти, что указывает на преобладание грибов, утилизирующих сложные субстраты. В целом, активность потребления субстратов грибным сообществом из КДО разных стадий разложения была ниже, чем таковая у собственно почвенного сообщества.

Кластерный анализ изменения спектров потребления субстратов бактериальным и грибным сообществами на разных стадиях разложения валежа ели выявил четкое отличие микробных сообществ ранних стадий (I и II) от промежуточных (III и IV) и последней V стадии. При этом на V стадии потребление субстратов бактериями было уже сходно с почвенным сообществом, а активность грибного сообщества все же достоверно отличался от почвенного.

Таким образом, изучение комплекса микробных процессов при деструкции КДО ели обыкновенной показало, что наиболее выраженные изменения состава и метаболической активности микробных сообществ деструкторов древесины происходят на III и V стадиях разложения.

ЛИТЕРАТУРА:

- Горленко М.В. Кожевин П.А. 2005 / Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ. Москва МАКС Пресс. – 88 с.
- Данилогорская А. А., Марфенина О. Е., Тухбатова Р. И., 2015. Опыт применения мультисубстратного тестирования для определения функционального разнообразия почвенных грибов. / Микология и фитопатология. Том 49 вып.6 стр 340-348.
- Кудеяров В. Н., Заварзин Г. А., Благодатский С. А. и др — Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / . Москва: Москва, 2007. — 315 с.

СУКЦЕССИЯ ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ТАЁЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.А. МАЛАХОВА

Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск

Изучение качественных и количественных характеристик всех процессов круговорота азота позволит установить этапы сукцессии биоты и связанные с ними скорости накопления и потерь азота в виде газообразных продуктов в почвах разных экосистем и, в частности таёжных Западной Сибири, под лесами разного возраста, которые практически не изучены.

Целью работы является выявление структурно-функциональных изменений альгогруппировок и микробоценозов в ходе сукцессии лесных экосистем с учётом продукционно-деструкционных процессов круговорота азота.

Почвенные образцы отбирались в разновозрастных лесах дерново-подзолистой почвы Томской области: сосновый лес (18-20 лет); тёмнохвойный лес (50-70 лет); елово-пихтовый лес (170-180).

Для выявления видового состава водорослей использовали метод водных и чашечных культур со стёклами обрастания. Фитоценотический анализ альгогруппировок основывался на выявлении комплекса доминантных видов, характере пространственного распределения водорослей (Штина, Голлербах, 1976). Доминантные виды выделяли на основе определения балла обилия по 15-балльной шкале (Кабиров, Шилова, 1990).

Микробиологические анализы проводили по методикам, рекомендованным ВНИИСХМ (Методы ..., 1966; Ежов, 1974). Общее количество бактерий, использующих органический азот учитывали на МПА; бактерий и актиномицетов, усваивающих минеральный азот на КАА; нитрифицирующих бактерий на жидкой среде Виноградского для нитрификаторов; денитрифицирующих микроорганизмов на среде Берёзовой; аэробных азотфиксирующих микроорганизмов и олигонитрофилов на плотной безазотистой среде Эшби методом комочков и разведения.

При выявлении сукцессионных перестроек водорослевых группировок учитывают видовой состав, доминантный комплекс видов, спектр жизненных форм и вертикальную структуру альгогруппировок.

Ведущие позиции по абсолютному числу видов, так и по долевному участию сохраняются за зелёными водорослями в вариантах молодого и зрелого сформированного зрелого леса. В экосистеме среднего возрастного леса за лидерство наряду с зелёными вступают жёлтозелёные водоросли, которые в других исследованных вариантах лесов

занимают второе место. В тройке лидеров жизненного спектра водорослей находятся С-, Х-, Сh формы, положение которых на разных этапах сукцессии может меняться. Выделяется одновидовое присутствие азотфиксатора *Nostoc punctiforme f. populorum* (Geitl.) Hollerb., для которого доказано участие в биологической фиксации азота.

Доминантный комплекс на всех этапах сукцессии лесных фитоценозов представлен видами типичными для лесных экосистем (pp. *Chlorhormidium*, *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Pleurochloris*, *Stichococcus*).

В вертикальной структуре видов водорослей отмечается тенденция снижения числа видов и внутривидовых таксонов вниз по профилю, вплоть до исчезновения в горизонте – ВС.

Исследование микробных сукцессий включает изучение численности и таксономического состава микробсообщества, продуктов метаболизма разных физиологических групп. Прохождение той или иной стадии микробной сукцессии обусловлено спецификой функциональной структуры микробсообщества. Численность аммонификаторов – сапротрофов увеличивается от почв молодой таёжной экосистемы к почвам среднего и зрелого возраста. Накопление олигомеров, в частности аминокислот, тормозит развитие этих групп микроорганизмов – гидролитиков, но стимулирует развитие сахаролитических грибов, дрожжей и бактерий, относящихся к группе копитрофов.

Снижение концентрации доступных углероди азотсодержащих соединений замедляет рост копитрофов и на смену им приходят олиготрофы – олигонитрофилы и олигокарбофилы. Численность олигонитрофилов закономерно увеличилась от почв молодых таёжных экосистем к зрелым.

Перестройка структуры сообщества растений, животных и микроорганизмов в ходе сукцессии имеет общие закономерности. В молодой экосистеме преобладают r – стратеги. В зрелой сформированной экосистеме r-стратегов стало меньше, актиномицетов, относящихся к K-стратегам.

1. По ходу сукцессионных перестроек альгогруппировок разного возраста таёжных экосистем происходит увеличение видового, биологического спектра, а также доминантного комплекса.

2. Биологическую фиксацию азота в исследованных почвах осуществляют преимущественно олигонитрофилы и микроорганизмы рода *Clostridium*, а также цианопрокариоты р. *Nostoc*, но их активность и энергия осуществления процесса низкая. Азотобактер не обнаружен. Это означает, что заметного накопления доступного азота в этих почвах не происходит. Нитрифицирующие бактерии развиваются только в верхнем горизонте

A₀. Азот в почве накапливается лишь в аммонийной форме за счёт деятельности аммонифицирующих микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА:

Штина Э.А., Голлербах, М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 142 с.

Кабилов Р.Р., Шилова И.И. Почвенные водоросли свалок и полигонов твёрдых бытовых отходов и промышленных отходов в условиях крупного промышленного города. Экология. 1990. № 5. С. 10-18.

Ежов Г.И. Руководство к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии. М.: Высшая школа, 1974. 288с.

РОЛЬ СПОСОБА КОНСЕРВАЦИИ ОБРАЗЦОВ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЛАБИЛЬНОГО И МИКРОБНОГО ПУЛОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА

М.Н. МАСЛОВ, О.А. МАСЛОВА, О.А. ТОКАРЕВА

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

Микроорганизмы являются основными драйверами биогеохимических циклов углерода и азота в биосфере и осуществляют ключевые процессы образования и разложения почвенного органического вещества, фиксации и дальнейшего преобразования атмосферного азота. В связи с этим, важное значение приобретает оценка микробного и лабильного пулов углерода и азота, особенно в так называемых «горячих точках», т.е. зонах максимальной микробиологической активности, к которым в том числе относится наземный детрит. Вопрос о влиянии способа хранения образцов на результат определения лабильного и микробного пулов углерода и азота в почвах является одной из дискуссионных методических проблем. Очевидно, что изменения параметров относительно естественного состояния будут минимальными при немедленном анализе после взятия пробы из разреза, однако часто это невозможно из-за большого количества образцов и видов анализа, либо специфики логистики. Целью нашей работы: оценка влияния способа хранения и предварительной инкубации образцов лесной подстилки на результаты определения лабильного и микробного пулов углерода и азота.

В работе использовали образцы лесной подстилки ельника черничного, собранные в экосистемах северной, средней и южной тайги. Подстилка отбиралась с выделением горизонтов L, F и H. Подстилки характеризуются высоким содержанием органического углерода (36-47%) на фоне низкой обеспеченности азотом (C:N = 25-46) и низкой зольности. Свежие образцы доставлялись в лабораторию и анализировались не позднее, чем через 1 сутки после отбора, что позволяет рассчитывать на получение результатов, соответствующих их естественному состоянию. Лабильные соединения C и N экстрагировали 0.05 М K₂SO₄.

Углерод и азот микробной биомассы ($C_{\text{микр}}$ и $N_{\text{микр}}$) определяли методом фумигации-экстракции. Для выяснения влияния способа консервации и хранения на результат определения микробного и лабильного углерода и азота, каждый проанализированный свежий образец разделяли на три части. Первую часть высушивали до воздушно-сухого состояния, вторую – замораживали при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, третью – помещали в холодильник при $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Образцы хранили в течение 3 месяцев, после чего повторно определяли описанные выше параметры. Определения также проводили через 7 суток предварительной инкубации при $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ для выяснения возможности восстановления исходных свойств.

Влияние способа консервации образцов лесной подстилки на результаты определения лабильного и микробного углерода и азота. Хранение образцов подстилки в течение 3 месяцев существенным образом влияет на результат определения C и N лабильного и микробного пулов. Не смотря на тенденцию к сохранению основных относительных параметров, в абсолютных величинах консервация образцов в большинстве случаев приводит к существенному изменению пулов углерода и азота. При этом изменение концентраций лабильного и микробного пулов C и N после хранения не зависит от генетических особенностей горизонта подстилки: двухфакторный дисперсионный анализ не выявил достоверного взаимодействия факторов «горизонт-способ хранения». Таким образом, можно говорить о том, что наблюдаемые после консервации изменения в свойствах подстилок не зависят от степени разложенности растительного материала, а определяются в наибольшей степени реакцией микроорганизмов.

Высушивание до воздушно-сухого состояния и последующее увлажнение до 60% ППВ приводит к наиболее существенному изменению концентраций лабильного и микробного углерода и азота по сравнению с данными, полученными для свежих образцов. После высушивания наблюдается существенное обогащение лабильного органического вещества азотом. Увеличение концентрации лабильных компонентов соотносится со снижением концентрации углерода и азота микробной биомассы, что позволяет предположить, что именно она является источником дополнительного количества лабильных форм C и N. Механизм этого явления связан с денатурацией цитоплазматических мембран микроорганизмов при высушивании и выходом раствор их цитоплазмы при последующем увлажнении.

Замораживание образцов лесной подстилки и их хранение при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в наименьшей степени искажает результаты определения углерода и азота микробной биомассы: попарное сравнение с показателями свежих образцов с использованием t-критерия не выявило статистически достоверных ($p < 0.05$) различий. В тоже время, после хранения в

замороженном виде происходит увеличение концентраций углерода и азота лабильного пула, в том числе до 2-2.5 раз увеличение концентрации аммонийного и нитратного азота.

Влияние хранения образцов лесной подстилки в свежем виде при низких положительных температурах (+4 °С) сказывается на результатах определения менее однозначно, чем при высушивании и замораживании. Для образцов подстилки наблюдается снижение концентрации $C_{\text{микро}}$ и $N_{\text{микро}}$, а концентрации экстрагируемого углерода, органического и минерального азота, как правило, демонстрируют статистически значимое, но разнонаправленное изменение. Отсутствие единообразной картины изменения оцениваемых показателей связано с тем, что хранение при низких положительных температурах не останавливает биологические процессы, а лишь снижает скорость их протекания.

Влияние предварительной инкубации хранившихся образцов на результаты определения лабильного и микробного углерода и азота. Предварительная аэробная инкубация в большинстве случаев не приводит к восстановлению исходных (характерных для свежих образцов) концентраций пулов углерода и азота. Концентрации микробного и лабильного органического и минерального азота наиболее чувствительны к инкубации после хранения. При этом для образцов одних и тех же подстилок, но хранившихся разными способами, часто наблюдаются разнонаправленные тенденции трансформации азота лабильного и микробного пулов. Преобладающий процесс трансформации лабильных соединений азота во время аэробной инкубации во многом определяется соотношением C:N в микробной биомассе и лабильном органическом веществе.

Заключение. Реалистичные данные по содержанию углерода и азота микробной биомассы, минеральных форм азота и процессов их трансформации при изучении наземного детрита возможно получить только при анализе свежих образцов. Любой способ консервации и хранения образцов приводит к определенной степени искажения абсолютных величин пулов C и N. В наибольшей степени на результаты определения исследуемых параметров оказывает влияние высушивание образцов и их хранение в воздушно-сухом состоянии. Для оценки концентраций углерода и азота микробной биомассы в большинстве случаев возможно хранение подстилки в замороженном виде, однако этот способ не приемлем для последующего определения концентрации экстрагируемого углерода и азота. Установленные закономерности изменения концентраций лабильного и микробного пулов углерода и азота после хранения в разных условиях однотипны для горизонтов подстилки с разной степенью разложения растительного материала. Предварительная инкубация хранившихся образцов не позволяет добиться восстановления исходных свойств. Интенсивность процессов нетто-

минерализации и микробной нетто-иммобилизации соединений азота при предварительной инкубации образцов зависит от степени обогащенности микробной биомассы и лабильного органического вещества азотом и для образцов одного и того же горизонта подстилки определяется способом их консервации.

Необходимо соблюдать определенную взвешенность и осторожность при обобщении и интерпретации ранее опубликованных результатов, полученных с использованием длительно хранившихся в высушенном состоянии или предварительно инкубированных образцов.

** Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 17-76-10020).*

ЭМИССИЯ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ ОСУШЕННОГО, А ЗАТЕМ ОБВОДНЕННОГО БОЛОТА

А.Г. МОЛЧАНОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лесоведения Российской академии наук, с. Успенское, Одинцовского района, Московской обл.

Интенсивность дыхания почвы в значительной степени зависит от температуры почвы и условий влажности. Почвенное дыхание также зависит от типа растительности. Интенсивность дыхания значительно изменяется у основных типов биомов (Schlesinger 1977; Singh, Gupta 1977; Raich, Schlesinger 1992). Растительные сообщества часто демонстрируют различия в скорости дыхания почвы (Lundegardh 1927; Lieth, Ouellette 1962; Ellis 1974). Так с поверхности торфяно-болотной почвы под многолетними травами и посевами озимых зерновых при эмиссии с поверхности почвы выделялось в 1.9 раза больше CO₂, чем на площадке без растений (Белковский, Решетник, 1981).

Такие выводы указывают на то, что тип растительности является важным фактором, определяющим дыхание почвы и, следовательно, изменения в растительности могут изменить реакцию почв на изменение окружающей среды.

Исследования проводились на Дубненском болотном массиве (Талдомский район Московской области, 56°42' с. ш., 37°50' в. д.), который является характерным примером частично освоенного торфяника, где на небольшом удалении друг от друга представлены последствия различных направлений осушения и хозяйственного использования: участки добычи торфа (разной степени выработанности). (Чистотин М.В., Сирин А.А., Дулов Л.Е., 2006; Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Сирин А.А. 2015).

Исследования проводились на вейниковом кошенном (отава) и некошенном лугу и

ивово-березовом молодняке 10 летнего возраста.

На этих участках определяли эмиссию CO_2 с поверхности почвы методом открытых камер по открытой схеме (Edwards и Sollins, 1973) с помощью инфракрасного газоанализатора “*LICOR820*” и “*LICOR840*” (*Li-Cor*, США). Для этого на поверхность почвы устанавливали прозрачные камеры диаметром 20 см и высотой 10 см, через которые над поверхностью почвы поддерживали постоянный проток атмосферного воздуха со скоростью 100-200 л ч⁻¹. Показания газоанализатора регистрировались логгерами (*EMS*, Чехия) каждые 10 секунд одновременно с приходящей к поверхности солнечной радиацией (Вт/м²), температурой воздуха и почвы (°C). Определение влажности почвы (%) проводили термовесовым методом. Определение концентрации CO_2 в воздухе поступающего в каждую камеру регистрировали в течение 2-х мин и в течение 2-х мин выходящий из камеры. Для расчетов газообмена использовали разность в средней за 2 мин концентрации CO_2 в воздухе поступающей и выходящей из камеры. Более подробная методика изложена нами ранее (Молчанов, 2010, 2014).

Ивово-березовый молодняк произрастал на 2-х участках, различающихся не столько влажностью почвы (400 и 450%), сколько уровнем грунтовых вод (20 и 30см). Более сухая почва находилась под березовой куртиной, а более влажная почвы была под ивовой куртиной. В результате эмиссия CO_2 на этих участках различалась более чем в два раза. Средняя эмиссия CO_2 из почвы на влажном участке под ивовой куртиной при влажности почвы 450% была 14,46 мкмоль CO_2 м⁻²с⁻¹, а на несколько более свежем при влажности почвы 400% под березовой куртиной эмиссия CO_2 из почвы была 5.46 мкмоль CO_2 м⁻²с⁻¹ при температуре почвы 12°C

При изменении температуры воздуха от 0 до 20°C эмиссия CO_2 изменилась на влажном, ивовом участке (450%) с 10 мкмоль CO_2 м⁻²с⁻¹ до 20 мкмоль CO_2 м⁻²с⁻¹. На свежем, березовом участке при влажности почвы 400% при таком же изменении температуры эмиссия изменилась с 4 до 7 мкмоль CO_2 м⁻²с⁻¹.

На вейниковом лугу (отаве) на такой же торфяной почве суточный ход эмиссии CO_2 с поверхности почвы наблюдается одновременно с поступлением солнечной радиации и изменением температуры почвы. Несмотря на очень большие колебания выноса CO_2 , максимальная интенсивность выноса CO_2 из почвы приурочена к максимальной температуре почвы. Зависимость эмиссии CO_2 с поверхности почвы от температуры почвы при увеличении температура с 10 до 20 °C эмиссия CO_2 увеличилась с 5 до 8 мкмоль CO_2 м⁻²с⁻¹, наиболее низкие показатели наблюдаются с 24 до 5 часов ночью. Интенсивность эмиссии CO_2 за сутки в августе 2018г была 7.1 мкмоль CO_2 м⁻²с⁻¹ или 0.31 г. С м⁻²с⁻¹. В связи с высокой

интенсивностью эмиссии CO_2 наблюдается и высокая концентрация CO_2 в приземном слое воздуха, если ночью, когда не наблюдается фотосинтеза была 2100 ppm, то в полуденные часы – 330 ppm.

Таким образом, на кошеном лугу эмиссия CO_2 с почвы была соответственно 5 и 8 мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при влажности почвы 140%, тогда как на такой же торфяной почвы на котором произрастал ивово-березовый молодняк, эмиссия CO_2 с поверхности почвы была 14.5 мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при влажности почвы 450% под ивовой куртиной, а на несколько более свежей почвы при влажности 400% под березовой куртиной -5.5 мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

При на пушицево-сфагновом болоте при УПГВ 7 см с изменением температуры воздуха с 7 до 15°C интенсивность дыхания почвы изменяется от 4 до 8 мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, (Молчанов, 2017).

В неморальном ельнике во влажные сезоны 2007-2009 и 2011 среднее за серию дыхание почвы варьировало в пределах от 3.6 до 7.0 мкмоль $\text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (Курбатова и др., 2012).

Следовательно, безусловно, на эмиссию CO_2 с поверхности почвы влияет как тип растительности, так и влажность, и температура почвы. В зависимости от условий произрастания приоритет этих условий будет меняться.

**Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках «Международной климатической инициативы» Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K «Восстановление торфяных болот»).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Белковский В.И., Решетник А.П. Динамика эмиссии CO_2 из торфяной почвы при различном ее использовании // Почвоведение. 1981, № 6. С. 57–61. 57–61.
- Курбатова Ю.А., Татарин Ф.А., Молчанов А.Г., Варлагин А.В.1, Авилон В.К., Лопес де Гереню В.О., Шалухина Н.В., Широная И.И. Потоки CO_2 из почвы в еловых экосистемах Центрально-лесного заповедника // Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. 2012. Выпуск 6. Стр. 62-70.
- Молчанов А.Г. CO_2 древостоев в естественных условиях // Фотосинтетическая деятельность и продукционные процессы фитоценозов. Выпуск 1. Орел: изд-во Орел ГАУ., 2014. С. 63-88.
- Молчанов А.Г. Мониторинг эколого-физиологических показателей в экосистемах // Серебряноборское опытное лесничество: 65 лет лесного мониторинга. М.: КМК, 2010. С. 112-129.
- Молчанов А.Г. 2017. Газообмен диоксида углерода с поверхности сфагноума // ДООС и ГИК. Т. 8. № 1. С. 43-54.
- Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Сирин А.А. Потери углерода при добыче торфа и сельскохозяйственном использовании осушенного торфяника в Московской области // Агрехимия. 2015. № 11. С. 51– 62
- Чистотин М.В., Сирин А.А., Дулов Л.Е. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // Агрехимия. 2006. № 6. С. 54– 62.
- Edwards N.N., Sollins P. Continuous measurement of carbon dioxide evolution from partitioned forest floor components // Ecology. 1973. Vol. 54. № 2. P. 406-412.
- Singh J.S., Gupta S.R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. Bot. Rev. 1977. 43. P. 449–529.

- Raich J.W., Schlesinger W.H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. 1992. V. 44B. P. 81–99.
- Raich J., Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls // *Biogeochemistry*, 2000. V. 48. P. 71–90.
- Lieth H, Ouellette R. Studies on the vegetation of the Gaspé Peninsula. II. The soil respiration of some plant communities. *Can. J. Bot.* 1962. V. 40. P. 127–140.
- Ellis R.C. The seasonal pattern of nitrogen and carbon mineralization in forest and pasture soils in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 1974. V. 54. P. 15–28.

ПОЛЕЗАЩИТНЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЛОСЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

А.В. МУСЛИМОВА, Р.Ф. МУСТАФИН, И.К. ХАБИРОВ А.Р. РАЯНОВА, Н. КУДАШЕВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

В данной работе приведен теоретический анализ состояния защитных лесных полос вдоль автомобильных и железных дорог Республики Башкортостан на сегодняшний день. Рассмотрено состояние перестойных лесных полос, создание новых полезащитных полос. Предложен вариант по созданию лесоводственных мероприятий.

Подвергаясь мощному экологическому воздействию, лесные экосистемы могут сдвинутся с позиций естественного равновесия, и их развитие может путем разбалансирования природных комплексов (Мустафин и др., 2017). Хозяйственная и иная деятельность человека должна осуществляться на основе принципа, изложенного в Статье 3 ФЗ РФ «Об охране окружающей природной среды» от (10 января 2010 года): «Научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды» (ФЗ «Об охране окружающей среды», 1]. А также, любой род деятельности субъекта, не должен противоречить Статье 1 Лесного Кодекса Российской Федерации: «Сохранение средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов в интересах обеспечения права каждого на благоприятную окружающую среду» (Лесной Кодекс, 2006). То есть, устойчивое природопользование является объективным требованием современного развития.

Система защитных лесных полос вдоль железнодорожных и автомобильных дорог, является неотъемлемой частью использования природной среды для удовлетворения различных потребностей общества (Габдрахимов К.М. и др. 2010).

Полезащитные лесные полосы, несмотря на кажущуюся внешнюю простоту, являются сложным инженерным сооружением, сочетающим в себе комплекс биологических и технических характеристик.

Республика Башкортостан занимает самый примечательный уголок Южного Урала, выгодное геополитическое положение на пересечении важнейших магистралей, соединяющих восток и запад, север и юг России, имеет достаточную ресурсную обеспеченность, универсальную структуру экономики, обладает высокими интеллектуальным потенциалом и имеет явный выигрыш по сравнению с другими регионами.

Защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей общего пользования, федеральных автомобильных дорог общего пользования, автомобильных дорог общего пользования, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации относятся к категории защитных лесов. Общая площадь лесов этого целевого назначения на территории 31 лесничества Республики Башкортостан составляет 92972 га. Кугарчинское, Инзерское и Белорецкое лесничества являются лидерами, среди остальных. Эти лесничества входят в состав Кугарчинского, Зилаирского, Белорецкого административных районов республики.

На территории Башкортостана полезащитные лесные полосы начали создаваться в конце 30-х гг. XX в., наиболее интенсивно работы проводились в 50-60-е гг. Основные породы деревьев: береза бородавчатая, лиственница Сукачева, тополь бальзамический, сосна обыкновенная, из кустарников шиповник, облепиха, смородина и др. (Тимерьянов, 2011).

Защитные лесные полосы вдоль автомобильных дорог, или иначе придорожные лесополосы на значительных площадях в основном являются бесхозными. Состояние этих полос неудовлетворительное. Они загрязнены бытовыми и промышленными отходами (рисунок 3), повреждены пожарами, и перестойными деревьями. Сегодня только 31,5 га лесных полос в Благоварском и Иглинском районах республики находятся на балансе Управления автомобильной магистрали Самара-Уфа-Челябинск.

Созданные более 50 лет назад ЗЛП на территории республики, состоящие в основном из таких пород как тополь и береза, практически не справляются со своими задачами, так как, во-первых, они достигли возраста спелости. Снижение уровней максимальных скоростей ветра, вызывающих уменьшение энерго-, массо-, и теплообмена на межполостных пространствах достигается в меньшей степени. Во-вторых, на территории республики отмечается массовая гибель (усыхание) посадок Тополя бальзамического в полезащитных лесополосах в южной, юго-западной и западной частях региона. Это явление связано с засушливой погодой 2010-2015гг., которая повсеместно ослабило насаждения. Засуха этого периода, оставила свой отпечаток и на насаждениях березы, которые заразились бактериальной водянкой березы.

В существующих защитных лесных насаждениях необходимо проведение лесохозяйственных работ, заключающихся в осуществлении санитарных, возобновительных рубок ухода, реконструкции и восстановлении. Наибольшие объёмы работ связаны с лесоводственными уходами и санитарными рубками.

В связи с отсутствием комплексного подхода к изучению современного состояния полезащитных необходимо выполнить всестороннюю лесоводственно-мелиоративную оценку полезащитных систем, что позволит дополнить и уточнить уже имеющиеся теоретические и практические аспекты лесомелиоративной науки и практики в нашем регионе. Так же необходимо определить участки и площади для создания новых систем полезащитных полос.

Альтернативным вариантом предлагается создание условий естественного возобновления защитных полос, метод посадки лесных культур – самовосстановление, а хозяйственной деятельности вырубки перестойных на вторичную обработку.

Защитные лесные насаждения, рассматриваются как объекты разового использования, поэтому регенерация их может быть достигнута следующим образом: созданием новой лесополосы, рядом с существующей, созданием второго поколения культур под пологом существующей, содействие естественному возобновлению. Из этих вариантов соблюдение непрерывности пользования более надежным являются посадки на одной и той же площади под пологом еще живого материнского древостоя.

Вывод: Состояние полезащитных полос требует серьезного вмешательства со стороны всех участников хозяйственной деятельности. Необходима реконструкция существующих полос совместными усилиями хозяйствующих субъектов МО, сельских поселений, сельскохозяйственными предприятиями и физических лиц. На законодательном уровне необходимо принятие мер, позволяющих в сжатые сроки разработать механизмы регулирующие деятельность хозяйствующих субъектов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: от 10.01.2002 N 7-ФЗ. Москва. 2007. 47с.
Российская Федерация. Законы. Лесной кодекс Российской Федерации: [федер. закон: принят Гос. Думой 08 ноября 2006г.: по состоянию на 01 марта 2017г.]. – Москва. 2006. 72с.
"Лесной кодекс Российской Федерации" от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 03.08.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2018)
Габдрахимов К.М., Набиуллин Р.Б., Хайретдинов А.Ф. Леса и лесоводы Башкортостана. Уфа: Башкирский ГАУ, 2010. 334с.
Тимерьянов А.Ш., Рамазанов Ф.Ф. Полезащитное лесоразведение. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011.64с.
Мустафин Р.Ф., Ханов Д.А., Султанова Р.Р. Водоохранно-защитные леса Уфимского плато (на примере Павловского водохранилища): коллективная монография. Уфа: Башкирский ГАУ, 2017. 96с.

ВЛИЯНИЕ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕТАЁЖНОГО ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНОГО НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ

Е.М. ПЕРМИНОВА, Е.М. ЛАПТЕВА, О.М. ЗУЕВА, О.А. ОСТАНИНА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Известно, что парцеллярная структура лесных биогеоценозов является одним из факторов пространственной изменчивости свойств почв. Работами Н.В. Лукиной с соавторами (2008) установлены основные закономерности пространственной изменчивости некоторых свойств в почвах северотаёжных лесов – кислотности почв, содержания обменного кальция, биогенной аккумуляции некоторых элементов, буферности почв. Цель данной работы заключалась в выявлении особенностей пространственного варьирования свойств лесных подстилок в среднетаёжных еловых лесах.

Исследования проводили на территории Республики Коми (Усть-Куломский р-н), в подзоне средней тайги. В качестве объекта исследования выбраны почвы спелого ельника чернично-зеленомошного. Почвы исследуемого участка с позиций «Классификации и диагностики почв России» (2004) относятся к подзолистым с микропрофилем подзола глубоко глееватым. Отбор образцов проводили в мае 2018 года. Образцы торфяно-подстилочного горизонта отбирали с учетом парцеллярного строения лесного сообщества: вблизи комлей деревьев, в середине крон и на границе кроны (или в межкроновом пространстве). Для аналитических исследований горизонт лесной подстилки дифференцировали на подгоризонты: О1, О2 и О3. Определение рН водной и солевой (КС1) вытяжек в образцах подстилок проводили потенциометрическим методом на иономере «Анион-4100» со стеклянным и проточным хлорсеребряным электродами (Теория и практика..., 2006). Массовую концентрацию общего углерода органических соединений и общего азота в водных вытяжках из почв ($\omega(C_{орг})_{H_2O}$, $\omega(N_{общ})_{H_2O}$) находили методом высокотемпературного каталитического окисления с бездисперсионной ИК-регистрацией на анализаторе общего углерода ТОС V_{СРН} по разности общего содержания углерода и углерода неорганических соединений (Шамрикова и др., 2012). Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Excel XP.

Являясь ключевым звеном лесных биогеоценозов, лесные подстилки определяют свойства почв, их мозаичность в лесном пространстве, отражают специфику взаимосвязи живых организмов с почвами. Лесные подстилки ельников зеленомошных аккумулируют до 15.1 кг·м⁻² органического углерода, что связано с замедленным типом разложения растительных остатков в таежных экосистемах (Бобкова и др., 2014). В исследованном нами

ельнике чернично-зеленомошном мощность подстилки в среднем составляет 5.4 ± 1.9 см. Варьирование мощности подстилки связано с увеличением данного показателя в приствольной парцелле до 6.8 ± 2.59 см. Различия между подгоризонтами подстилки (O1, O2, O3) проявляются в степени разложения растительного материала, его окраски и плотности. Более рыхлый светлоокрашенный подгоризонт подстилки O1 сложен слаборазложенными растительными остатками – хвоей, листовыми пластинками березы и черники, отмершими частями мхов. Подгоризонты O2 и O3 характеризуются более темной окраской, пронизаны грибным мицелием, плотность сложения этих подгоризонтов (0.099 ± 0.0179 г·см⁻³) практически в 2 раза выше по сравнению с подгоризонтом O1 (0.044 ± 0.0070 г·см⁻³). В парцеллярном строении плотность подгоризонтов лесной подстилки увеличивается в направлении от комля дерева к межкроновому пространству от 0.208 г·см⁻³ до 0.333 г·см⁻³, в проекции кроны плотность составляет 0.274 г·см⁻³.

Варьирование влажности лесных подстилок характеризуется аналогичной закономерностью. В прикомлевой части влажность горизонта лесной подстилки составляет в среднем 306.8%, в проекции кроны – 375.6%, в межкроновом пространстве – 394.1%.

Анализ кислотно-основных свойств лесных подстилок свидетельствует о близком уровне кислотности всех рассмотренных парцелл, о чем свидетельствует отсутствие статистически значимой разницы между ними. В среднем актуальная кислотность горизонта лесной подстилки в межкроновом пространстве составляет 5.1 ± 0.6 , в проекции кроны – 5.3 ± 0.6 , в прикомлевой части – 5.2 ± 0.6 ед. рН. Соответствующим образом происходит варьирование в пространстве и потенциальной обменной кислотности: в подстилке межкронового пространства кислотность солевых КСl-вытяжек составляет 4.4 ± 0.9 , в проекции кроны – 4.7 ± 0.8 , в прикомлевой части – 4.6 ± 0.8 ед. рН. Общей закономерностью для всех парцелл является увеличение кислотности вниз по профилю: от подгоризонта O1 где величина рН водных вытяжек составляет 5.7-5.8 ед. рН, к подгоризонту O3, где величина рН водных вытяжек характеризуется величинами 4.4-4.6 ед. рН. При этом дифференциация лесной подстилки по величине кислотности более ярко выражена в межкроновом пространстве.

Водорастворимые органические соединения (ВОС), содержащиеся в лесной подстилке, являются источниками биогенного кислотообразования (Шамрикова, 2013), и соответственно формируют определенные условия кислотности почв. Содержание углерода водорастворимых органических соединений в подстилке различных микрзон ельника чернично-зеленомошного, как и величина рН водной вытяжки, статистически не различается. Наибольшим содержанием углерода водорастворимых органических соединений

характеризуется проекция кроны, где данный показатель составляет 6.0 ± 2.7 мг/г воздушно-сухой почвы, наименьшее содержание углерода ВОС характерно для межкрупного пространства – 5.3 ± 2.3 мг/г, в прикомлевой части данный показатель составляет 5.8 ± 2.4 мг/г воздушно-сухой почвы. В отличие от показателей кислотности, содержание ВОС в пределах горизонта лесной подстилки снижается вниз по профилю в 2.0-2.2 раза. Уменьшение количества водорастворимых органических компонентов в нижних подгоризонтах лесной подстилки при снижении в них величины рН водных вытяжек связано с изменением здесь природы кислотности. Скорее всего, основную роль здесь играет качественный состав водорастворимых органических соединений – возрастание в их составе доли низкомолекулярных органических кислот и фульвокислот (Шамрикова, 2013).

Таким образом, в ходе исследования были установлены физико-химических параметры подстилки ельника чернично-зеленомошного среднетаежной подзоны Республики Коми. Показано, что парцеллярная структура лесного сообщества оказывает соответствующее влияние на такие параметры как мощность, плотность и влажность подстильно-торфяного горизонта. В тоже время такие показатели, как кислотность подстилок и содержание в них углерода водорастворимых органических соединений статистически не различаются в различных парцеллах ельника чернично-зеленомошного, не испытывающего антропогенного воздействия.

**Работа выполнена в рамках программы УрО РАН № 18-8-49-17 «Продуктивность сельскохозяйственных культур с особенностями трансформации и стабилизации почвенного органического вещества в пахотных угодьях Европейского Северо-Востока (на примере средней тайги Республики Коми)»*

ЛИТЕРАТУРА:

- Бобкова К.С., Машика А.В., Смагин А.В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.: Наука, 2014. 270 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
- Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
- Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
- Шамрикова Е.В., Ванчикова Е.В., Сытарь Т.С., Зуева О.М. Сравнительное исследование методик определения содержания углерода органических соединений в природных водах и водных вытяжках из почв // Вода: химия и экология. 2012. № 4. С. 88-92.
- Шамрикова Е.В. Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 157 с.

ВЛИЯНИЕ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЛИСИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.В. ПЯТИНА¹, Г.А. КАСАТКИНА², А.Н. УСТЮЖАНИНА²

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

²СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Почвенно-зоологические исследования с целью изучения влияния осушительной мелиорации на мезопедофауну проводились на территории Государственного природного заказника «Лисинский» в 2018 г. Для этого были выбраны аналогичные биотопы на территории стационара «Малиновский», осушенного в 1973 г. (Бабилов и др., 2006) и в ближайшем лесном массиве не подвергавшегося осушению. Почвенный покров осушенного участка под сосняком зеленомошно-сфагновым представлен торфяно-элювиально-метаморфической окисленно-глеевой глинисто-иллювирированной потечно-гумусовой легкосуглинистой почвой сформированной на ленточных глинах. Заболоченный участок в сосняке сфагновом характеризуется торфянным элювоземом глеевым среднесуглинистым сформированным на ленточных глинах.

Количественные учеты почвенной мезофауны проводили в три срока (май, июль, сентябрь) в 4-кратной повторности методом ручной разборки почвенных проб размером 1/16 м² послойно на глубину 10 см: подстилка, 0-10 см. Учет герпетобионтов проведен в сентябре почвенными ловушками Барбера.

Мезопедофауна исследованных участков характеризуется низкой численностью, бедным видовым и групповым составом. Всего было собрано 138 экземпляров геобионтов и 435 экземпляров герпетобионтов.

Средняя численность мезопедофауны заболоченного участка составила 120 экз./м², при изменении межсезонных значений от 56 экз./м² в июле до 204 экз./м² в мае. На данном участке отмечены представители шести классов (Oligochaeta, Gastropoda, Diplopoda, Chilopoda, Insecta, и Arachnida), при этом основу почвенного населения составляют насекомые (51%) и паукообразные (28%).

На осушенном участке средняя численность беспозвоночных почвы составила 64 экз./м², с наибольшей плотностью популяции в мае (108 экз./м²). Основу почвенного населения, так же как и на заболоченном участке, составляют насекомые (56%). Плотность населения пауков, также сходна с заболоченным участком – 31%. На данном участке отсутствуют представители брюхоногих моллюсков.

Анализ трофической структуры показал, что на обоих участках относительно высока численность хищников – 42 и 66 % на осушенном и заболоченном участках, а на долю сапрофагов приходится лишь 6 и 10% соответственно. Сапрофаги представлены малощетинковыми червями (*Dendrobaena octaedra* Savigny, энхитреидами) и двупарноногими многоножками (*Megaphyllum sjaelandicum* Meineri и *Polydesmus inconstans* Latzel). Хищники представлены губоногими многоножками (*Lithobius crassipes* L.Koch., *L. curtipes* C. Koch.), жужелицами, стафилинами и пауками.

Послойный учет беспозвоночных позволил установить, что 90% животных на осушенном участке сосредоточено в подстилке, в то время как на заболоченном участке в подстилке отмечено только 74% собранных животных.

Учет с помощью ловушек показал, что на осушенном участке динамическая численность беспозвоночных животных в два раза выше, чем на заболоченном (403 и 218 экз./100 ловушко-суток). Такая разница связана с большей численностью на осушенном участке пауков. Только на осушенном участке отмечен почвенно-подстилочный вид дождевых червей *Lumbricus rubellus* Hoffm. и таракан *Ectobius* sp., выше численность многоножки *Polyzonium germanicum* Brdt. и муравьев *Myrmica rubra* Linnaeus.

Среди жужелиц, отмеченных на обоих участках, численность *Pterostichus oblongopunctatus* Fabricius выше на заболоченном участке, а *Carabus hortensis* Linnaeus на осушенном. Только на осушенном участке отмечен *C. nemoralis* O. F. Muller.

Фауна жуков стафилин на участках отлична: на осушенном зарегистрировано 4 вида, а на заболоченном только 2. При этом на последнем численность стафилин в 1,5 раза выше за счет *Olophrum assimile* Paykull.

Таким образом, фауна почвенных беспозвоночных на осушенном участке характеризуется более низкой численностью, что мы связываем с засушливым 2018 годом. Низкая численность сапрофагов спустя 45 лет после осушительной мелиорации указывает на необходимость дополнения комплекса мероприятий по осушению внесением минеральных удобрений и дождевых червей с целью ускорения минерализации органического вещества растений-торфообразователей.

ЛИТЕРАТУРА:

Бабилов Б. В., Шурыгин С. Г. Почвенно-гидрологические исследования в Лисинском учебно-опытном лесхозе. СПб.: ИПО СПбГЛТА, 2006. 59 с.

АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЛЕСОВ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ, ГРАНИЧАЩИХ С РЕСПУБЛИКОЙ БЕЛАРУСЬ

О.А. РЕВИНА¹, А.Г. РЕВИН²

¹ ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», г. Смоленск

² Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования
Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», Смоленский филиал, г. Смоленск

Изменение лесистости территорий Смоленской области, граничащих с республикой Беларусь, происходило на разных этапах исторического развития. Если дореволюционный период развития территории исследования характеризовался сокращением площадей лесов, то в 20 веке наблюдался рост лесистости, который усилился во второй половине прошлого столетия. Тенденция сохраняется на современном этапе развития территории. По данным Департамента Смоленской области по охране, контролю и регулированию использования лесного хозяйства, объектов животного мира и среды их обитания лесистость Смоленской области составила 41,9% [6]. Вместе с лесистостью произошла антропогенная трансформация видового состава лесов. Коренные леса запада Смоленской области и сопредельных территорий были представлены еловыми, елово-широколиственными, сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами. По данным Е.А. Шмидта (1992), при раскопках памятников I тыс. до н.э. в районе исследования были обнаружены древние кострища, в которых достаточно частой находкой являлись дубовые угли. Такие находки свидетельствуют о том, что дубравы имели широкое распространение. Более поздние данные подтверждают, что в середине 19 века в Смоленской губернии господствовали еловые леса, а боры встречались редко [6]. Широколиственные породы деревьев в основном входили в состав смешанных лесов.

По данным Государственного доклада (2017) в настоящее время на исследуемой территории распространены вторичные леса, в видовом составе которых преобладают мелколиственные породы (75,3% площади покрытых лесной растительностью земель), из них площадь березовых насаждений (61,3 % площади мелколиственных древостоев) [5]. Доля хвойных насаждений в общей площади покрытых лесной растительностью земель составляет 24,3 %. Среди них по площади преобладают молодые ельники, которые вырастают за счет естественного возобновления на месте мелколиственных лесов. Спелые еловые леса остаются в основном в труднодоступных местах. Широколиственные породы деревьев произрастают в сочетании с елью или сосной, а отдельные рощи из широколиственных пород имеют локальное размещение. Например, в долине р. Днепр можно встретить дубовые рощи.

Антропогенная трансформация растительного покрова территории Смоленской области существенным образом повлияла на почвообразование и отразилась на геохимических характеристиках почвы. Учитывая, что изменение более глубоких горизонтов почвы происходит за время от 100 до 1000 лет [1], можно предположить, что эти горизонты сохранили свои морфологические и геохимические особенности, связанные с предыдущими фитоценозами. А верхний горизонт будет в полной мере отражать эколого-геохимические особенности трансформации, связанные с изменением видового состава леса.

Для выявления эколого-геохимических изменений были отобраны образцы почвы в сходных геолого-геоморфологических условиях под пологом елового, смешанного и мелколиственного леса. Основной древесной породой ельника-кисличника является ель европейская (*Picea alies* (L.) Karst). Подлесок в лесу из ели очень редкий. В составе смешанного леса произрастают липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill), клен платановидный (*Acer platanoides* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), ель европейская (*Picea alies* (L.) Karst). Кроме того, в лесу хорошо выражены все ярусы: подлесок, травянистый ярус и др. Мелколиственный лес представлен в основном березой бородавчатой (*Betula pendula* Roth) осиной (*Populus tremula* L.) и ольхой черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) и в нем также хорошо выражен травянистый ярус.

Все исследованные участки расположены на водоразделах, где почвообразующими породами являются лессовидные суглинки. Почвы изученных участков относятся к дерново-подзолистому типу с разной степенью оподзоливания. В профиле почв хорошо выражены подзолистый и иллювиальный горизонты. В верхней части профиля идет гумусонакопление. Исследования показали, что состав древесных пород оказывает влияние на морфологические признаки почв. В почвах, сформированных под мелколиственным и елово-широколиственным лесом, подзолистый горизонт выражен слабее, чем под еловым лесом. Мощность горизонта вымывания в смешанном лесу составляет около 10 см, в мелколиственном – 7 см, а в еловом этот горизонт увеличивается до 15 - 20 см. Процесс гумусообразования также определяется составом растительности. В мелколиственном и смешанном лесу формируется более мощный гумусовый горизонт, который составляет соответственно от 15 до 20 см. У почв, образованных в еловом лесу, отмечается хорошо выраженная лесная подстилка, под которой залегает маломощный гумусовый горизонт (около 5 см), постепенно переходящий в горизонт A_1A_2 мощностью до 15 см.

Видовой состав леса влияет на химические свойства почвы. В ходе исследования было выявлено, что наиболее высокое содержание органического вещества (4,1 %) характерно для гумусового горизонта почвы сформированной под смешанным лесом. В мелколиственном

лесу этот показатель составляет 2,7 %. В почве под еловым лесом – 1,8 %. Такие результаты подтверждают, что скорость образования гумуса напрямую связана со скоростью разложения опада. По данным Родина Л.Е. и Базилевича Н.И. (1965), образование гумуса в почвах ельника и сосняка осуществляется за 10 – 17 лет, под березняком – за 4 – 5 лет, опад травянистых растений разлагается в течение одного – двух лет [2].

Кроме гумуса заметному изменению подвергаются и другие химические свойства почвы. Исследования показали, что в еловом лесу происходит существенное подкисление верхней части профиля почвы, где показатель рН опускается до 3,8. В условиях смешанного и мелколиственного леса значения рН составляют соответственно 4,8 и 5,1, что также характеризует кислые условия среды. Гидролитическая кислотность гумусового горизонта почвы под ельником самая высокая и составляет 16,8 мг-экв/100 г почвы. В хвойно-широколиственном лесу этот показатель составляет 14,7 мг-экв/100 г почвы, а в мелколиственном лесу – 13,9 мг-экв/100 г почвы.

Сумма поглощенных оснований также отличается в зависимости от типа фитоценоза. В гумусовом горизонте почвы под смешанным лесом этот показатель достигает 18,2 мг-экв/100 г почвы. В почвах под еловым и мелколиственным лесом сумма оснований уменьшается соответственно до 4,4 и 5,7 мг-экв/100 г почвы. Анализ степени насыщенности почв основаниями показывает, что под ельниками почвы отличаются самыми низкими значениями этого показателя.

Таким образом, геохимический анализ почв показал, что изменение видового состава лесов и уменьшение в их составе широколиственных пород приводит к ухудшению химических свойств почвы лесов Смоленской области, граничащих с республикой Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА:

- Маймусов Д.Ф. Почвы Смоленской области (генезис, состояние, управление плодородием): Монография. – М.: Прометей. 1992. – 288 с.
- Родин Л.Е, Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. – Москва-Ленинград: Наука, 1965. – 253 с.
- Соловьев Я. Сельскохозяйственная статистика Смоленской губернии. – Москва, 1855 – 487 с.
- Шмидт Е.А. Племена верховьев Днепра до образования Древнерусского государства. Днепро-двинские племена (VIII в. до н. э. - III в. н. э.) / Е. А. Шмидт. - М. : Прометей, 1992. - 207 с. : ил.; 20 см.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Смоленской области в 2017 году. <http://les.admin-smolensk.ru/files/351/2017-doklad-po-ohrane-okruzhayuschej-sredy.docx>
- Лесной план Смоленской области на 2009 – 2018 год. Книга 1. Смоленск, 2016. Департамент Смоленской области по охране, контролю и регулированию использования лесного хозяйства, объектов животного мира и среды их обитания. <http://les.admin-smolensk.ru/files/198/lesnoy-plan-smol-obl-2016.pdf>

«АРТРОПОДНЫЙ ДОЖДЬ» КАК МЕХАНИЗМ ТРОФИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ НАДЗЕМНЫМ И ПОЧВЕННЫМ ЯРУСАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)

О.Л. РОЗАНОВА, Е.Э. СЕМЕНИНА

Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва

Одним из механизмов трофического взаимодействия между надземным и подземным ярусами лесной экосистемы может быть поступление из крон деревьев на почву мелких беспозвоночных и дериватов их деятельности. Многократно показано, что «артроподный дождь» играет ключевую роль в формировании пищевой базы молоди рыб в затененных лесных водотоках (Edwards, Hury, 1995; Zhang and Richardson 2011; Gustafsson et al. 2014), однако значение этого феномена для почвенных пищевых сетей очень мало исследовано.

Ряд исследований с применением изотопной метки (Goncharov et al., 2016; Potapov et al., 2016) указывает на то, что «артроподный дождь» может служить дополнительным энергетическим ресурсом почвенных хищников. Результаты этих немногочисленных исследований выявляют потенциальную значимость данного потока для функционирования наземных детритных пищевых сетей. Вероятно, «артроподный дождь» обеспечивает важную функциональную связь между надземным ярусом, подстилкой и почвой в лесных экосистемах: дополнительный ресурс может поддерживать высокое обилие и видовое разнообразие педобионтов и вносить вклад в формирование трофической структуры почвенного населения в лесных экосистемах.

Целью исследования было сравнение эколого-функционального состава потока артроподного дождя и подстиочно-почвенного яруса с помощью метода стабильных изотопов.

Полевые исследования проводились в лесных экосистемах в окрестностях биогеоценологической станции ИПЭЭ РАН «Малинки» на двух рабочих площадках: в ельниках мертвопокровном и смешанном. Для сбора падающих из крон беспозвоночных были использованы специально разработанные ловушки в количестве 6 штук на каждую рабочую площадку, которые экспонировались в течение суток с периодичностью 1 раз в две недели в течение всего вегетационного сезона. Разбор проб и определение животных происходило в лабораторных условиях. После идентификации материал был высушен при температуре 50°C в течение 72 часов и затем взвешен на аналитических весах с точностью до 10 мкг. Изотопный анализ был проведен с помощью масс-спектрометра Thermo-Finnigan Delta V, совмещенного с элементным анализатором (Thermo Flash 1112), находящегося в

Центре коллективного пользования на базе ИПЭЭ РАН (Москва). Полученные данные по изотопному составу падающих из крон беспозвоночных мы сравнили с результатами изотопных данных подстильно-почвенного яруса умеренных широт, опубликованными ранее (Potapov et al., 2019). Для получения сравнимых данных из разных точек сбора материала была проведена нормализация изотопного состава азота и углерода на величины $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ соответствующего опада. Различия диапазонов данных значений изотопного состава углерода и азота в тканях артропод, падающих из кронового и обитающих в подстильно-почвенном ярусах, могут служить индикатором различных источников пищевых ресурсов для данных сообществ. Кроме того, в работе определены диапазоны трофических уровней субстратов (растительного опада, пыльцы, лишайников и пр.), а также фитофагов, сапрофагов, хищников и продукции их жизнедеятельности (экзувия и экскрементов).

В результате данной работы мы показали, что диапазон значений изотопов азота и углерода животной составляющей потока «артроподного дождя» умеренных экосистем отличается от полученного ранее для артропод подстильно-почвенного яруса: для $\delta^{13}\text{C}$ эти значения варьировались от -3.4 до 10.3‰ , со средним $2.4 \pm 0.1\text{‰}$ (в работе Potapov et al., 2019 от -3.1 до 9.8‰ со средним $4 \pm 0.1\text{‰}$), а для $\delta^{15}\text{N}$ – от -7.2 до 19.1‰ , со средним $1.6 \pm 0.1\text{‰}$ (-5.3 до 17.2‰ со средним $4.2 \pm 0.1\text{‰}$). Общее количество измерений составило $n=732$, в работе Potapov et al., 2019 – $n=1300$. Для качественного сравнения данных по двум сообществам мы использовали библиотеку SIBER (Jackson et al., 2011) для языка программирования R, которая позволяет сравнивать площади и пересечения эллипсов, содержащих 95% точек для каждого массива данных. Мы выяснили, что данные эллипсы имеют большое пересечение (57.8% от площади объединения двух эллипсов). При этом соотношение площади пересечения к площади каждого эллипса составляет 57.8% для «артроподного дождя» и 100% для почвенно-подстильного яруса, что указывает на присутствие дополнительного источника пищевых ресурсов для артропод, падающих из крон. Более широкий диапазон значений для потока «артроподного дождя» объясняется тем, что он представлен в значительной степени фитофагами ($\delta^{13}\text{C}=1.5 \pm 0.1\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N}=-0.4 \pm 0.2\text{‰}$ ($n=209$)), в том числе коллемболами (Dicrytomidae, Entomobryidae, Sminthuridae) ($\delta^{13}\text{C}=1.46 \pm 0.1\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N}=-2.6 \pm 0.1\text{‰}$ ($n=142$)) и сеноедами ($\delta^{13}\text{C}=0.2 \pm 0.1\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N}=-3.1 \pm 0.3\text{‰}$ ($n=40$)), которые питаются эпифитными водорослями и лишайниками.

Таким образом, вклад фитофагов-обитателей кронового пространства, по всей видимости, представляет собой дополнительный трофический ресурс для детритных пищевых цепей. В целом, поток «артроподного дождя» является мало исследованным

феноменом, который способствует поддержанию биологического разнообразия обитателей подстильно-почвенного яруса.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-34-00181.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Edwards, E.D., Huryn, A.D. Annual contribution of terrestrial invertebrates to a New Zealand trout stream // *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 1995. V. 29. P. 467–477.
- Goncharov, A.A., Tsurikov, S.M., Potapov, A.M., Tiunov, A.V. Short-term incorporation of freshly fixed plant carbon into the soil animal food web: field study in a spruce forest // *Ecological Research*. 2016. V. 31. P. 923–933.
- Gustafsson, P., Greenberg, L.A., Bergman, E. Woody debris and terrestrial invertebrates – effects on prey resources for brown trout (*Salmo trutta*) in a boreal stream // *Environmental Biology of Fishes*. 2014. V. 97. P. 529–542.
- Jackson A.L., Inger R., Parnell A.C., Bearhop S. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER Stable Isotope Bayesian Ellipses in R // *J. Anim. Ecol.* 2011. V. 80. P. 595–602.
- Potapov, A.M., Goncharov, A.A., Tsurikov, S.M., Tully, T., Tiunov, A.V. Assimilation of plant-derived freshly fixed carbon by soil collembolans: Not only via roots? // *Pedobiologia*. 2016. V. 59. P. 189–193.
- Potapov, A. M., Tiunov, A. V., Scheu, S. Uncovering trophic positions and food resources of soil animals using bulk natural stable isotope composition // *Biological Reviews*. 2019. V. 94(1). P. 37–59.
- Zhang, Y., Richardson, J. S. Contrasting effects of cross-ecosystem subsidies and predation on benthic invertebrates in two Pacific coastal streams // *Aquatic Sciences*. 2011. V. 73(1). P. 53–62.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ЮЖНОТАЕЖНЫХ БЕРЕЗНЯКАХ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ СТАДИЙ С ЕЛЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Н.А. РЫБАКОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лесоведения
Российской академии наук, г. Москва

Изучена пространственная неоднородность лесной подстилки в южнотаежных березняках кисличных ($B_{\text{кис}}$) и черничных свежих ($B_{\text{чер}}$) в возрасте от 40 до 105 лет в связи с естественным восстановлением под их пологом популяции ели. Исследования проведены на 17 постоянных пробных площадях Северной ЛОС ИЛАН (Ярославская обл.). Пространственная неоднородность лесной подстилки рассматривалась в связи с возрастной трансформацией березняков, сопровождающейся изменением морфоструктуры популяций. В интервале возраста от 40 до 105 лет проанализированы 3 стадии возрастного развития березняков: возмужания (интенсивного изреживания и роста березы в возрасте от 11 до 50 лет), зрелости (снижения темпов изреживания и роста, 51 – 80 лет) и старения (слабого изреживания и роста, 81 – 120 лет) (Рубцов, Дерюгин, 2013). Ценопопуляция ели предварительной генерации представлена подростом или вторым ярусом. Возрастные стадии березняка характеризуются определенной парцеллярной структурой, обусловленной различиями в составе древесного, кустарникового и травянистого ярусов (Дылис, 1969),

возрастом и плотностью древостоя березы и ели. При выделении парцелл в древесном ярусе приняты различия в ярусности (1-й, 2-й ярус, подрост), составе (виды доминанты) и сомкнутости полога яруса ели (сомкнутый – более 50%, несомкнутый – 50% и менее) (Рубцов, Рыбакова, 2016). В травяно-кустарничковом ярусе фитоценоза парцеллы выделяли по характерным видам, имеющим наиболее высокое постоянство в синтаксоне (Татарников, 2017).

Для анализа парцеллы объединены по сходству строения древесного яруса в несколько групп: березовая (Б₁, берёза в 1-м ярусе древостоя с единичными деревьями ели под пологом), березовая с несомкнутым (Б₁-Е_П) и березовая сомкнутым (Б₁-Е_{СП}) еловым подростом, березовая со 2-м ярусом ели (Б₁-Е₂). В стадии возмужания березняков в возрасте 41-50 лет преобладают группы парцелл Б₁-Е_{НП} 39% площади, Б₁ – 30%, Б₁-Е_{СП} – до 22%, Б₁-Е₂ – лишь 9%. При переходе к стадии зрелости березняка в возрасте 51-60 лет структура древостоя значительно изменяется, группы парцелл занимают, соответственно, 15, 20, 22 и 43%. В 61-90-летних березняках отмечено нарастание монопарцеллярности структуры древостоя, парцеллы Б₁-Е₂ занимают до 100% площади ПП и различаются только по доминирующим видам напочвенного покрова. Разрушение монопарцеллярности строения древостоя наступает в стадии старения березняков в возрасте 91-105 лет, что связано с интенсивным изреживанием второго яруса ели; появляются парцеллы с молодым подростом ели на участках группового вывала берез.

Расчет запаса лесной подстилки по типам леса без учета парцеллярной структуры фитоценоза показал, что средний запас подстилки в Б_{кис.} ($24.39 \pm 1.13 \text{ т.га}^{-1}$) статистически достоверно отличается от запаса в Б_{чер.} ($30.17 \pm 1.31 \text{ т.га}^{-1}$). В пределах одного типа леса запас подстилки зависит от парцеллярного сложения фитоценоза и увеличивается по мере нарастания долевого участия ели в объеме парцеллы. Наименьшие запасы отмечаются в парцеллах, где ель встречается в виде отдельных экземпляров (Б₁), где подстилка представлена быстро перегнивающим опадом березы: в Б_{кис.} $16.2 \pm 1.07 \text{ т.га}^{-1}$, Б_{чер.} $22.81 \pm 0.82 \text{ т.га}^{-1}$. Запас подстилки увеличивается в группе парцелл Б₁-Е_{НП}: в Б_{кис.} до 23.57 ± 0.62 , в Б_{чер.} 23.39 ± 1.0 . Наибольший запас отмечен в березовых парцеллах со вторым ярусом ели Б₁-Е₂: Б_{кис.} $-28.10 \pm 1.05 \text{ т.га}^{-1}$, Б_{чер.} $-34.33 \pm 1.49 \text{ т.га}^{-1}$. Расчет достоверности различий запаса подстилки в различных группах парцелл в пределах одного типа леса по t-критерию Стьюдента показал, что различия в Б_{кис.} достоверны для всех групп парцелл за исключением Б₁-Е_{СП} и Б₁-Е_{НП} (t факт. = 0.31, t теор._{0.01} = 2.64). В Б_{чер.} между парцеллами Б₁-Е_{СП} и Б₁-Е₂ (t факт. = 0.80, t теор._{0.01} = 2.63). Запас подстилки в парцеллах со вторым ярусом ели равен или близок к запасу в парцеллах с сомкнутым подростом, что связано с изреживанием елового

яруса древостоя в парцеллах группы Б₁-Е₂. В парцеллах с высокой сомкнутостью полога ели (Б₁-Е_{СП}), где проективное покрытие напочвенного покрова менее 5% (мертвопокровные), запас подстилки достигает максимальных величин по сравнению с парцеллами кисличными и черничными.

Установлена тесная статистическая зависимость между запасом подстилки в парцелле и характеристиками популяции ели. Для этого по группам парцелл рассчитаны плотность древостоя ели, горизонтальная сомкнутость крон и сомкнутость полога ели. Нами введен коэффициент использования деревьями объема надземного пространства, занятого парцеллой (соотношение суммы объемов крон деревьев ели в парцелле и объема парцеллы, установленного по высоте березового яруса и площади парцеллы), что позволило нам оценить использование ценопопуляцией ели объема парцеллы в зависимости от морфоструктуры древостоя. Наиболее тесная зависимость отмечена между запасом подстилки и сомкнутостью крон ели (коэффициент корреляции 0.86), сомкнутостью полога (0.75), плотностью древостоя ели (0.75), коэффициентом использования деревьями объема надземного пространства, занятого парцеллой (0.68). Коэффициенты корреляции подтверждают необходимость расчета среднего запаса подстилки по группам, объединяющим парцеллы с различной морфоструктурой ели.

Расчет запаса подстилки по возрастным стадиям березняка с учетом представленности парцелл в различных стадиях показал, что в Б_{кис.} в стадии возмужания в возрасте березы 41-50 лет запас подстилки составляет 21.9 т.га⁻¹, постепенно увеличиваясь в стадии зрелости в возрасте березы 51-80 лет от 24.62 до 28.1 т.га⁻¹ и уменьшается при разрушении монопарцеллярности строения древостоя в стадии старения (81-105 лет) до 26.5 т.га⁻¹. В Б_{чер.} запас подстилки в тех же возрастных стадиях составляет, соответственно, 26.3, 30.0 34.3 и 33.01 34.3 т.га⁻¹.

В Б_{кис.} средние значения опадо-подстилочного коэффициента (ОПК) увеличиваются при переходе ели из подроста во второй ярус от 3.8 до 7.2 (среднее 5.2). В Б_{чер.}, который характеризуется повышением увлажнения почвы и усилением анаэробных процессов, среднее значение ОПК выше-7.3 (от 6.0 до 8.2). Подстилка с двумя подгоризонтами (L и F) формируется, как правило, в парцеллах с единичным участием ели. Увеличение количества опада хвои по мере увеличения долевого участия ели в объеме парцеллы приводит к формированию подстилки с тремя подгоризонтами (L, F, H). Выявлены особенности внутрипарцеллярной неоднородности распределения подстилки в группах парцелл. Сравнение запаса подстилки в различных частях кроны ели в парцеллах групп Б₁-Е_{НП}, Б₁-Е_{СП} и Б₁-Е₂ показало, что во всех группах наибольшие запасы подстилки наблюдаются в

приствольной зоне деревьев. В пределах парцеллы запас подстилки вблизи стволов елей превышает запас на границе крон на $7-8 \text{ т.га}^{-1}$, различия являются статистически достоверными.

ЛИТЕРАТУРА:

- Рубцов М.В., Дерюгин А.А. Динамика возрастной структуры популяции ели под пологом южнотаежных березняков Русской равнины // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. XXXI. № 1–2. С. 9–14.
- Дылис Н.В. Структура лесного биогеоценоза. / Дылис Н.В. // Комаровские чтения, XXI. М.: Наука. 1969. 55 с.
- Рубцов М.В., Рыбакова Н.А. Динамика парцеллярной структуры лесных фитоценозов в процессе восстановления популяции ели в южнотаежных березняках // Лесоведение. 2016. №5. С. 343-351.
- Татарников Д.В. Закономерности динамики травяно-кустарничкового покрова южнотаежных березняков // Комплексные стационарные исследования в лесах южной тайги. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2017. С.250-286.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОВ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ

Р.Н. САБИРОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск

Северный Сахалин характеризуется особыми, кардинально отличающимися от остальной части острова, природно-климатическими, геолого-геоморфологическими и почвенно-грунтовыми условиями и, как следствие, лесной растительностью. В северных районах Сахалина представлены в основном полого-холмистые и равнинные ландшафты, сформированные на погруженных верхнемеловых и палеоген-миоценовых глыбово-складчатых структурах, покрытых сравнительно мощным чехлом рыхлых отложений плиоценового и четвертичного возраста. Широко развиты здесь морские аккумулятивно-абразионные террасы нескольких уровней с множеством заливов и озер, заболоченными западинами, сфагновыми торфяниками, а также песчаными косами и дюнами вдоль побережья. Осадков выпадает в два с лишним раза меньше, чем в южных районах острова, однако из-за слабого испарения часто происходят процессы заболачивания (Атлас..., 1967).

Почвы северной, равнинной части острова выделены в северную подзолисто-болотную подзону сахалинской почвенной области, где наиболее широко развиты средней слабоподзолистые, сухоторфянистые иллювиально-гумусные, торфянисто-подзолисто-болотные и болотные почвы (Ивлев, 1965). Безусловно, значительная часть рассматриваемой территории представлена сухими и крайне сухими песчаными и супесчаными почвами, гранулометрический состав которых практически однообразен по всему профилю. Как на

крайне сухих, так и на сырых, заболоченных участках господствуют светлохвойные леса, образованные из лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi*) и которые при геоботаническом районировании Сахалина выделены в одноименную подзону (Толмачев, 1955). На бедных гумусом, сухих песчаных подзолистых почвах формируются в основном лишайниковые и кедровостланиковые типы лиственничников, а на болотах с ослабленной аэрацией и сырыми торфяными, торфяно-глеевыми и торфянисто-глеевыми почвами – кустарничковые, осоковые и сфагновые типы лиственничных лесов или их редины с низкой продуктивностью насаждений, как правило, V – Va классов бонитета.

Лесной покров Северного Сахалина, характеризующийся на первый, поверхностный взгляд гомогенной структурой, отличается весьма заметным типологическим разнообразием, вариациями состава древостоев и определенной мозаичностью, обусловленными, прежде всего, почвенно-грунтовыми и орографическими условиями. В частности, на эрозионно-аккумулятивных террасах речных долин встречаются дерново-подзолистые, торфяно-глеевые и торфяные почвы, с эутрофно-торфяным горизонтом в верхней части профиля, и на которых формируются довольно высокопродуктивные разнотравные и кустарниковые типы лиственничных лесов с примесью темнохвойных пород, а также различных видов ив и ольхи волосистой (*Alnus hirsuta*). Почвенный и лесной покровы меняются и при незначительном изменении рельефа местности. Даже на небольших по высоте водоразделах, холмах и других возвышенностях, встречающихся в основном вдоль восточного побережья острова, появляются елово-лиственничные и пихтово-еловые леса, под которыми развиваются оподзоленные буро-таежные и грубогумусированные почвы с песчаным профилем.

Значительно коррелируют с мезорельефом растительный и почвенный покровы на морских террасах. Здесь, в зависимости от характера увлажнения и расположения по элементам рельефа, представлены дерново-подзолистые, подзолистые, сухоторфяно-подзолистые, торфяно-подзолистые, торфяно-глеевые, а также олиготрофные и эутрофные торфяные почвы, покрытые главным образом зарослями кедрового стланика (*Pinus pumila*). Кроме этого, на равнинных морских террасах восточного побережья острова выделены серогумусовые солонцеватые почвы, которые формируются на аккумулятивных формах рельефа, сложенных прибрежно-морскими отложениями (Жарикова, 2013).

Однако наибольшим разнообразием лесной растительности и неоднородностью почвенного покрова отличается самая северная оконечность Сахалина – полуостров Шмидта. Последний, в миниатюре копирует главные геоморфологические черты острова в целом и на котором представлены все основные лесные формации, встречающиеся на Сахалине. Несмотря на отнесение северной части Сахалина в подзону лиственничников, на полуострове

Шмидта доминируют темнохвойные леса, площадь которых существенно превышает таковую зональной формации. Лиственничники занимают плакоры и широкие долины рек в межгорной депрессии между Восточным и Западными хребтами, под которыми развиваются торфяные болотные почвы. Кроме указанных двух лесных формаций, на полуострове встречаются также каменноберезовые, осиновые, кедровостланиковые, ивово-тополевые, ольховые леса и некоторые их смешанные варианты (Сабилов, Сабирова, 2011).

Согласно новой классификации почв России (Классификация..., 2004), на полуострове Шмидта развиты разнообразные типы альфегумусовых почв, слабо нарушенных антропогенной деятельностью. Темнохвойные леса произрастают здесь на нижних и средних частях горных склонов на буро-таежных слабоподзоленных иллювиально-гумусовых почвах. Под горными каменноберезняками распространены лесные иллювиальногумусовые почвы с некоторыми проявлениями оподзоливания и оглеения. В поясе зарослей кедрового стланика представлены торфянисто-перегнойные оглеенные, а на более крутых склонах – сухоторфянистые щелочные почвы.

В завершение следует отметить, что лесной и почвенный покровы Северного Сахалина, вследствие многолетних антропогенных воздействий, напрямую связанных с нефтегазовой деятельностью, существенно трансформированы (Красикова, Сабиров, 1999). Наряду с этим, масштабные и многократные лесные пожары, при которых практически полностью выгорают органогенные горизонты, обусловили ухудшение лесорастительных свойств и деградацию почв, нарушение природных ландшафтов в целом. При этом базовый профиль почв эволюционирует из сильной среднеподзолистой в слабоподзолистую и неоподзоленную, из глубокой неглубокоподзолистой – в мелкоподзолистую и неоподзоленную (Жарикова, Ознобихин, 2008), что в результате привело к формированию на рассматриваемой территории аброземов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Атлас Сахалинской области. М.: ГУГК, 1967. 136 с.
- Жарикова Е.А., Ознобихин В.И. Нарушение лесорастительных свойств почвенного покрова Северного Сахалина пожарами // Вестник КрасГАУ. 2008. Вып. 5. С. 135-139.
- Жарикова Е.А. Особенности почвенного покрова восточного побережья Северо-Сахалинской низменности // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. №1. С. 87-94.
- Ивлев А.М. Почвы Сахалина. М.: Наука, 1965. 116 с.
- Классификация и диагностика почв России / Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. и др. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Красикова В.И., Сабиров Р.Н. Современное состояние растительного покрова антропогенно-трансформированных экосистем Северного Сахалина // Наземные экосистемы острова Сахалина (современное состояние, природно-антропогенные изменения, охрана и рациональное использование природных ресурсов). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1999. С. 16–52.
- Сабиров Р.Н., Сабирова Н.Д. Леса полуострова Шмидта (Северный Сахалин) // Леса и лесное хозяйство в современных условиях: матер. Всерос. конф. с междунар. участием. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2011. С. 52-54.
- Толмачев А.И. Геоботаническое районирование острова Сахалина. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 80 с.

РОЛЬ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ФОРМИРОВАНИИ ГОРНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ТУВЫ

А.Д. САМБУУ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл

Объект исследования – почвенно-растительный покров северо-восточного сектора Тувы – хребты Озерный, Даштыг-Хемский, Соругский, расположенные на южном макросклоне хр. Восточный Саян (географические координаты – 53°26'9,5028" с.ш., 96°35'12,6924" в.д.). Отмечается существенная ландшафтно-экологическая неоднородность территории, которая определяет большое типологическое разнообразие растительности и контрастность растительного покрова. Абсолютные отметки вершин хребтов колеблются в значительных пределах от 1800 до 2400 м, достигая 2783 м, в низкогорной части хребтов – междуречье рек Ак-Суг–Даштыг-Ой – 1400-1600 м).

Рельеф района исследования сильно расчлененный с острыми пиками и гребнями. Долинами рек являются трюги, углубленные эрозией. Реки начинаются из каров, которые имеют ступенчатое строение (Воскресенский, 1962; Алтае-Саянская горная область, 1969). Территория находится в зоне влияния северо-западных влажных воздушных масс и по сравнению с южными районами республики наиболее увлажнена (Ефимцев, 1957). Осадков выпадает около 800 мм в год, причем на теплый отрезок времени приходится до 70 % от их годового количества. Почвы горно-тундровые, горно-луговые, горно-таежные, сформировавшиеся на различных горных породах (Горбачев, 1978).

Растительный покров района исследования характеризуется наиболее гумидным типом вертикальной поясности горных систем Тувы. Основная закономерность распределения растительности – высотная поясность, которая обусловлена изменением климатических условий в зависимости от высоты местности над уровнем океана. Здесь хорошо выражены два пояса растительности – горно-лесной и высокогорно-тундровый.

Зональными являются кедровые, кедрово-лиственничные и лиственничные леса с зеленомошным покровом и подлеском из *Betula rothundifolia*, *Ledum palustre*, *Rhododendron aureum*, *Juniperus sibirica*, *Lonicera altaica*, *Duschekia fruticosa*, на южных склонах – леса из *Betula pendula* с лишайниковым покровом и подлеском из *Betula rothundifolia*, *Juniperus sibirica*, где в кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium myrtillus* или *Vaccinium vitis-idaea*. На наветренных склонах и по днищу долин встречаются еловые (*Picea obovata*) и пихтовые (*Abies sibirica*) леса с подлеском из *Duschekia fruticosa*, *Salix vestita*, *S. hastata*, *S. glauca*, *S. saposhnikovii*. Лесную подстилку формируют листья, хвоя, полуразложившиеся

остатки *Oxalis acetosella*, *Moneses uniflora*, *Paris quadrifolia*, *Allium microdictyon*, сфагновых и зеленых мхов.

Подзолистые почвы отличаются от дерново-подзолистых отсутствием или очень слабым развитием собственно гумусового горизонта A_0 . Органическое вещество в них аккумулируется главным образом в форме слабо-разложившейся подстилки (горизонт A_0) и частично в форме органо-минеральных комплексных соединений, не имеющих темной окраски. Поэтому верхние горизонты таких почв характеризуются сравнительно светлым цветом, определяемым в основном окраской минеральных компонентов почвенной массы.

Отмечая наличие названных почв в полосе бореальной «верхней» тайги Алтайско-Саянской горной области, Б.Ф. Петров (1952) связал их распространение с хорошо дренированными, вследствие легкого механического состава материнских пород, участками территории в «континентальных» провинциях (районах) Восточного Саяна и Алтая, назвал «подзолистыми иллювиально-железистыми» и дал морфологическую характеристику. По Б.Ф. Петрову, эти почвы характеризуются тонким поверхностным грубогумусовым покровом с резким переходом в горизонт A_2 . Последний имеет мощность до 5 см, белесовато-серый или светло-серый цвет, но иногда содержит темные гумусированные пятна, как бы зачатки горизонта A_f переход к следующему горизонту ясный. Горизонт В желтоватый охристый, неуплотненный, бесструктурный. Материнские породы, как правило, легкие – песчаные и супесчаные с галькой или щебнем, ледниковые или речные наносы. Иногда отмечаются менее резкие проявления подзолообразования, но общий описанный тип профиля сохраняется.

**Исследования выполнены при поддержке РФФИ № 18-44-170001–«р_а»*

ЛИТЕРАТУРА:

- Алтае-Саянская горная область. М.: Наука, 1969. 412 с.
Воскресенский С.С. Геоморфология Сибири. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. 348 с.
Ефимцев Н.А. Климатический очерк / Природные условия Тувинской автономной области. Труды Тувинской комплексной экспедиции. М.: Изд-во АН СССР, 1957. Вып. III. С. 46–65.
Горбачев В.Н. Почвы Восточного Саяна. М.: Наука, 1978. 200 с.
Петров Б.Ф. Почвы Алтайско-Саянской области — Труды Почв ин-та АН СССР, т. 35 Изд-во АН СССР, 1952. 248 с.

ДИНАМИКА ПОСТУПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА В ПОЧВУ С ОПАДОМ

Д.В. САПРОНОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических
исследований Российской академии наук»
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино,
Московская область
E-mail: sadmvas@gmail.com

С целью уточнения оценки баланса углерода в почве лесных экосистем была изучена динамика и оценено количество лесного опада поступающего на поверхность почвы.

Исследования проводили в южной части Московской области: в окрестностях г. Пушкино (54°20'N, 37°37'E) и на территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника (54°50'N, 37°35'E). Район исследований находится на границе южно-таежной зоны и зоны широколиственных лесов.

Экспериментальные площадки расположены в лиственном лесу на серой лесной тяжелосуглинистой почве и в смешанном лесу на дерново-подзолистой супесчаной почве. Основными лесообразующими породами лиственного леса являются осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) и берёза повислая (*Betula pendula* Roth.), средний возраст деревьев около 70 лет. Второй ярус в основном представлен клёном платановидным (*Acer platanoides* L.). В подлеске встречаются: клён платановидный (*Acer platanoides* L.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa* Scop.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.). Травянистый ярус развит плохо и в основной массе представлен зеленчуком жёлтым (*Galeobdolon luteum* Huds.), снытью обыкновенной (*Aegopodium podagraria* L.) и медуницей неясной (*Pulmonaria obscura* Dum.). Смешанный лес представлен сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), елью обыкновенной (*Picea abies* L.), дубом черешчатым (*Quercus robur* L.), осинкой обыкновенной (*Populus tremula* L.) и липой сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), возраст деревьев 50-100 лет и возможно более. Подлесок состоит из лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.), бересклета бородавчатого (*Euonymus verrucosus* Scop.), жимолости настоящей (*Lonicera xylosteum* L.) и также имеет поросль клёна платановидного (*Acer platanoides* L.). Травянистый ярус развит слабо и представлен в основном снытью обыкновенной (*Aegopodium podagraria* L.).

Отбор опада проводили ежемесячно в течение пяти лет, в 4-х кратной повторности, с помощью подвесных ловушек. Конструкция ловушек представляет собой два проволочных

квадрата разного размера. Основной квадрат 50x50 см, к нему по всему периметру крепится мешок из рыхлой ткани (тюль), в углах крепится верёвка для закрепления между стволов деревьев. Второй квадрат 25x25 см кладется внутрь мешка и используется для отягощения и расширения нижней части мешка. Глубина мешка составляет 50 см. Ловушки устанавливали на высоте 20 см от поверхности почвы до низа мешка. Сетчатая конструкция, на наш взгляд, позволяет избежать выдувание опада из ловушки. Также в результате свободного стекания дождевой воды и хорошей вентиляции опада не происходит его гниение. Мелкая ячейка ткани позволяет улавливать достаточно мелкие, порой не определяемые частицы опада. После изъятия опад разбирали на фракции (листва, хвоя, древесные части, почки, крылатки, цветоносы и неопределяемые остатки), затем высушивали и взвешивали.

Было выявлено, что поступление опада в лесном ценозе в течение года имеет два максимума независимо от типа леса. Наибольшее количество поступает с опадом листвы. Как правило, начало листопада определяется заморозками и в исследуемом регионе происходит в конце сентября, но чаще в начале октября. В это время на почву поступает до 390 г опада на кв. метр. В течение этих двух месяцев, в среднем за пять лет опадает основная масса листвы и масса опада составляет 46% в смешанном и 62% в лиственном лесу от общегодового поступления. Второй максимум приходится на начало вегетации растений и связан с опадом цветоносов и почечных чешуй. Количественно он значительно меньше осеннего – до 100 – 150 г опада на кв. метр. Суммарный вклад апреля и мая в общегодовое поступление опада составляет 15 – 19%. Всего, в среднем за пять лет, на поверхность почвы поступает в смешанном лесу порядка 517 г/м² опада, а лиственном лесу до 610 г/м².

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

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

На основе полученных данных рассчитано, что в течение всего года на почву поступает в лиственном лесу порядка 280 г С/м², а в смешанном лесу 240 г С/м². Стоит отметить, что в лиственном лесу к середине лета началу осени опад на поверхности почвы практически отсутствует, что свидетельствует о высокой скорости минерализации. Разложение опада в смешанном лесу протекает медленнее, что определяется вероятно

наличием хвойного опада и, в результате, на поверхности почвы формируется подстилка массой 270-370 г С/м². По литературным данным, на долю подземного опада приходится 50-60% от общей величины опада (Базилевич 2008), т.е. поступление углерода вместе с опадом в исследуемых ценозах составит 430 – 480 г С/м²/год.

**Работа выполнена в рамках государственного задания «Исследование почвенных предшественников, источников и стоков парниковых газов в связи с климатическими изменениями», рег. № АААА-А18-118013190177-9, руководитель темы – В.Н. Кудеяров и при поддержке гранта РФФИ 18-04-00773 а.*

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ АРТРОПОД, ПАДАЮЩИХ ИЗ КРОН ДЕРЕВЬЕВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА

Е.Э. СЕМЕНИНА, О.Л. РОЗАНОВА

Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова Российской академии наук

Особенности животного населения лесной подстилки относительно хорошо исследованы в рамках традиционных почвенно-зоологических подходов (Ghilarov, 1977; Стриганова, 1980; Wardle, 2002), в том числе в свете взаимодействия надземного и подземного ярусов (Wardle et al. 2010; Zakharov 2012). Однако трофические связи почвенных беспозвоночных и их вклад в систему регуляторных взаимодействий, связывающих надземные и подземные части экосистем, остаются плохо исследованными. В последние годы исследований с применением изотопной метки (Goncharov et al., 2016) указывают на то, что дополнительным энергетическим ресурсом почвенных хищников могут быть беспозвоночные, обитающие в кронах деревьев, которые в силу разных причин падают на поверхность почвы. Этот «артроподный дождь» может быть одним из механизмов трофической связи надземного и подземного блоков лесной экосистемы и способствовать поддержанию численности и разнообразия подстилочных беспозвоночных.

В последние годы изотопные методы стали ключевым инструментом для анализа трофической структуры почвенных сообществ и трофических связей почвенных организмов (Scheu and Falca, 2000; Тиунов, 2007). Анализ изотопного состава азота и углерода в тканях беспозвоночных животных, составляющих артроподный дождь, позволит определить трофический уровень животных и ключевые источники поступления энергии в пищевую цепь, соответственно. Это позволит уточнить их место в пищевой сети лесной экосистемы и

функциональную роль некоторых групп арthropод и характер трофической связи между надземным и почвенным ярусами.

Целью работы было определение функционального состава падающих из крон беспозвоночных с помощью метода стабильных изотопов.

Полевые исследования проводились в лесных экосистемах в окрестностях биогеоценологической станции ИПЭЭ РАН «Малинки». Для сбора падающих с крон компонентов потока (живых и мертвых) были использованы специально разработанные ловушки, которые экспонировались в течение суток с периодичностью 1 раз в две недели в течение всего вегетационного сезона. Разбор проб и определение животных происходило в лабораторных условиях. После идентификации весь материал был высушен при температуре 50°C в течение 72 часов и затем взвешен на аналитических весах с точностью до 10 мкг. Изотопный анализ был проведен с помощью масс-спектрометра Thermo-Finnigan Delta V совмещенного с элементным анализатором (Thermo Flash 1112), находящийся в Центре коллективного пользования на базе ИПЭЭ РАН, Москва.

Диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ у проанализированных животных составил 4.75‰ и 9.43‰ соответственно. Минимальные значения по $\delta^{13}\text{C}$ были отмечены у Aphidoidea (Hemiptera), Neuroptera, Heteroptera (Hemiptera) и у коллембол; максимальные Coleoptera (имаго и личинки), семейство Aradidae (Heteroptera) и паразитических Hymenoptera. Минимальные значения по $\delta^{15}\text{N}$ обнаружили у коллембол, Neuroptera, Psocoptera; максимальные – паразитические Hymenoptera, Formicidae, имаго Diptera, Coleoptera (имаго и личинки). На основании полученных данных удалось выделить несколько предварительных трофических гильдий: «лихенофаги» (Psocoptera, Neuroptera (Coniopterygidae)), «альгофаги» (Collembola: Dicyrtomidae, Entomobryidae, Sminthuridae), «фитофаги» (Hemiptera, в т.ч. Aphidoidea, большинство Heteroptera), «сапрофаги» (Poduromorpha (Collembola), некоторые Heteroptera), Diptera larva), «хищники» (Araneae, Opiliones, Hymenoptera (Formicinae), Coleoptera (Staphylinidae, Coccinellidae, Pselaphidae и пр.), Diptera). Тем не менее, некоторые группы арthropод могут многократно свободно перемещаться между пологом леса и подстилочным ярусом. Прежде всего, это крылатые животные (имаго жуков, двукрылых), муравьи, а также сенокосцы и пауки. Большая часть этих животных попадает в категорию «хищники». Таким образом, поток арthropодного дождя, падающего непосредственно из кронового пространства, состоит преимущественно из фитофагов, питающихся эпифитными водорослями, лишайниками, выделениями растений и сапрофагов.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-34-00181.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. М.: Наука, 1980, 243с.
- Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия РАН, Сер. Биол. 2007. Т. 4. С. 475-489.
- Ghilarov M.S. Why so many species and so many individuals can coexist in the soil. In: Soil Organisms as Components of Ecosystems // Ecological Bulletin of Stockholm. 1977. V.25. P. 593-597.
- Goncharov A.A., Tsurikov S.M., Potapov A.M., Tiunov A.V. Short-term incorporation of freshly fixed plant carbon into the soil animal food web: field study in a spruce forest // Ecological Research. 2016. V. 31. P. 923-933.
- Scheu S., Falca M. The soil food web of two beech forests (*Fagus sylvatica*) of contrasting humus type: stable isotope analysis of a macroand a mesofauna-dominated community // Oecologia. 2000. V.123. P. 285-296.
- Wardle D.A. Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components. Princeton: Princeton University Press. 2002. 392 pp.
- Wardle D.A., Karl B.J., Beggs J.R., Yeates G.W., Williamson W.M., Bonnek K.I. Determining the impact of scale insects honeydew, and invasive wasps and rodents, on the decomposer subsystem in a New Zealand beech forest // Biological Invasions. 2010. V.12. P. 2619-2638.
- Zakharov A.A. Ants at a border between the epigeal and soil blocks of a forest coenosis. Russian Entomological Journal. 2012. V. 21(2). P. 219-222.

СПЕЦИФИКА СВОЙСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В РИЗОСФЕРЕ РАЗНЫХ ВИДОВ ДЕРЕВЬЕВ

Т.А. СОКОЛОВА, И.И. ТОЛПЕШТА, И.В. ДАНИЛИН, Ю.Г. ИЗОСИМОВА

Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Известно, что химические, биологические и физические свойства и минералогический состав почв в ризосфере различных видов растений существенно отличаются от соответствующих характеристик вмещающей почвы (Gobran et al., 1998, Arocena, Glowa, 2006 и др.). Поэтому почву ризосферы относят к «hot spots» – определенным локасам в почвенном профиле, в которых биохимические процессы осуществляются с значительно большей скоростью, чем во вмещающей почве (Kuzyakov, Vlagodatskaya, 2015).

Специфика свойств почв в ризосфере изучается преимущественно для почв лесных экосистем, поскольку корневые системы древесных растений имеют способность сохраняться и функционировать на одном и том же месте в течение длительного периода времени, измеряемого десятками, а иногда и сотнями лет. В данной работе представлены результаты сравнительного анализа свойств почвы ризосферы ели обыкновенной (*Picea abies*) и клена остролистного (*Acer platanoides*) и соответствующих вмещающих палево-подзолистых почв Центрально-Лесного Заповедника (Тверская обл., Нелидовский район). На исследованной территории на фоне преобладания еловых древостоев часто встречаются участки смешанного леса и парцеллы, в пределах которых господствует какой-либо вид лиственных деревьев, в том числе клен остролистный. Появление таких парцелл имеет разные причины. Широколиственные породы часто произрастают в местах с более близким залеганием

карбонатной морены или на участках, подвергшихся сильным ветровалам, приводящим к гибели елового древостоя и к улучшению освещенности. На одном из таких участков с высокой долей в древесном ярусе клена остролистного 15-30-летнего возраста на площадке размером $\sim 50 \text{ м}^2$ из горизонта AELao палево-подзолистой почвы были отобраны образцы из ризосферы клена и из вмещающей почвы в пятикратной повторности. Вторая площадка расположена на расстоянии $\sim 25 \text{ м}$ от первой на участке зрелого елового леса. Образцы из ризосферы ели и вмещающей почвы отбирали также из горизонта AELao в пятикратной повторности с участка площадью $\sim 15 \text{ м}^2$ под елями (*Picea abies*) 15-20-летнего возраста. Обе площадки расположены в одинаковых условиях рельефа на пологом склоне. Почвы развиты на двучленных отложениях – легких покровных суглинках, подстилаемых тяжелосуглинистой мореной на глубине 40-50см. В напочвенном покрове участка под кленами больше доля неморальных травянистых видов. Определение химических свойств проводили общепринятыми методами (Воробьева, 1998), состав глинистых минералов определяли методом рентген-дифрактометрии (Соколова и др., 2005). Результаты обработаны методами непараметрической статистики в программе STATISTICA.

На площадке под еловым лесом наблюдаются достоверно более низкие значения $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ и pH_{KCl} и в ризосфере, и во вмещающей почве, чем на площадке под кленовой парцеллой, что согласуется с литературными данными (Карпачевский, 1977; Augusto et al., 2001; Dijkstra et al., 2001; Kluber et al., 2010 и др.). Под еловым лесом почва ризосферы по сравнению с вмещающей почвой характеризуется достоверно более низкими значениями pH водной и солевой суспензий, большей обменной кислотностью и меньшей степенью насыщенности основаниями. В почве под кленовой парцеллой наблюдаются противоположные закономерности: ризосфера характеризуется достоверно более высокими значениями pH, меньшей обменной кислотностью и большей насыщенностью основаниями. Различия в кислотно-основных свойствах ризосферы и вмещающей почвы под елью и под кленом можно объяснить совокупным действием нескольких факторов. Во-первых, на корнях ели развиваются эктомикоризные грибы, продуцирующие наиболее сильные органические кислоты, что приводит к подкислению почвы в ризосфере. В обзорной статье (Courty et al., 2010) в списке семейств растений, имеющих на корнях эктомикоризу, на первом месте стоит семейство сосновых (Pinaceae), к которому относится *Picea abies*, а семейство кленовых (Aceraceae) отсутствует. Во-вторых, с опадом клена на поверхность почвы поступает больше оснований, чем с еловым опадом. Установлено, что в хвое, ветвях, древесине и опаде ели содержится меньше Ca, Mg и K, чем в соответствующих компонентах широколиственных видов древесных пород (Родин, Базилевич, 1965). Кроме того, у клена более глубокая

корневая система, чем у ели, и поэтому основания – элементы питания (Ca, Mg, K) извлекаются корнями клена с большей глубины, чем корнями ели, и возвращаются на поверхность и в верхние горизонты.

Почва ризосферы и клена, и ели по сравнению с вмещающей почвой характеризуется более высоким содержанием С орг. и соответственно – более высокими значениями эффективной ЕКО. Почвам ризосферы и ели, и клена свойственно увеличение содержания обменного калия. Эта закономерность отмечена в ризосфере различных древесных пород в экосистемах разных природных зон и объясняется повышенной концентрацией калия в почвенном растворе в ризосфере по сравнению с вмещающей почвой (Dieffenbach, Matzner, 2000; Turpault et al., 2005 и др.).

В минералогическом составе илистой фракции почва ризосферы клена и ризосферы ели по сравнению с соответствующей вмещающей почвой характеризуется достоверно большим содержанием слюд и иллитов, что можно объяснить интенсификацией в ризосфере деревьев процессов физического дробления этих минералов, заключенных в составе более крупных фракций (April, Keller, 1990). Еще одной причиной увеличения содержания иллитовых минералов является интенсификация процесса иллитизации за счет повышенной концентрации калия в почвенном растворе в ризосфере. Почва ризосферы клена по сравнению с вмещающей почвой характеризуется более продвинутой стадией хлоритизации почвенных хлоритов вследствие более благоприятных для процесса хлоритизации кислотно-основных условий. В почве ризосферы ели по сравнению с вмещающей почвой выявлена тенденция к более глубокой трансформации слюд и иллитов в лабильные структуры за счет более кислой реакции среды, способствующей мобилизации Al.

В ризосфере ели по сравнению с вмещающей почвой выявлено достоверное накопление оксалатно-растворимых соединений Fe и пониженное содержание Fe в вытяжке Мера и Джексона за счет более кислой реакции среды, способствующей мобилизации унаследованных от породы оксидов/гидроксидов Fe с последующей их иммобилизацией в форме Fe-органических комплексов. В ризосфере клена подобная закономерность не выявлена. В почве ризосферы обоих видов деревьев наблюдается тенденция к накоплению оксалатно-растворимых соединений Al по сравнению с вмещающей почвой благодаря более интенсивному выветриванию минералов и накоплению Al-органических комплексов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Воробьева Л.А. Химический анализ почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ. 1998. 272 с.
Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 1977. 311 с.
Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М. «Наука». 1965. 250 с.
Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И. Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К. 2005. 336 с.

- April R., Keller D. Mineralogy of the rhizosphere in forest soils of the eastern United States // *Biogeochemistry*. 1990. V. 9. P. 1–18.
- Arocena J.M., Glowa K.R. Mineral weathering in ecto/mycorrhizosphere of subalpine fir (*Abies lasiocarpa* (Hook) Nutt.) as revealed by soil solution composition // *Forest Ecology and Management*. 2006. V. 133. P. 61–70.
- Augusto L., Ranger J., Turpault M.P., Bonnaud P. Experimental in situ transformation of vermiculite to study the weathering impact of tree species on the soil // *European J. of Soil Science*. 2001. V. 52. P. 81–92.
- Courty P.-E., Buée M., Diedhiou A.G., Frey-Klett P., Le Tacon F., Rineau., Turpault M.-P., Uroz S., Garbaye J. The role of ectomycorrhizal communities in forest ecosystem processes: New perspectives and emerging concepts // *Soil Biology & Biochemistry*. 2010. V. 42. PP. 679-698.
- Dieffenbach A., Matzner E. In situ soil solution chemistry in the rhizosphere of mature Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) trees // *Plant and Soil*. 2000. V. 222. P. 149–161.
- Dijkstra F.A., Geibe C., Holmström S., Lundström U.S., van Breemen N. The effect of organic acids on base cation leaching from the forest floor under six North American tree species // *European Journal of Soil Science*. June 2001. V.52. P. 205-214.
- Gobran G.R., Clegg S., Courchesne F. Rhizosphere processes influencing the biogeochemistry of forest ecosystems // *Biogeochemistry*. 1998. V. 42. P. 107–120.
- Kluber Laurel A., Tinnesand Kathryn M., Caldwell Bruce A., Dunham Susie M., Yarwood Rockie R., Bottomley Peter J., Myrold David D. Ectomycorrhizal mats alter forest soil biogeochemistry // *Soil Biology & Biochemistry*. 2010. V. 42. PP. 1607-1613.
- Kuzyakov Yakov, Blagodatskaya Evgenia. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // *Soil Biology & Biochemistry*. 2015. V. 83. P. 184-199.
- Turpault M.-P., Utérano C., Boudot J.-P., Ranger J., Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry // *Plant and Soil*. 2005. V. 275. P. 327-336.

РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

В.М. ТЕЛЕСНИНА, О.В. СЕМЕНЮК, Л.Г. БОГАТЫРЕВ

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова

Лесные подстилки функция древостоя и отражение факторов окружающей среды, основная индикаторная система лесного биогеоценоза (Ильина, Сапожников, 2007), при этом они до сих пор изучены недостаточно. Цель настоящей работы – выявить особенности подстилок в разных компонентах тессер елового леса во взаимосвязи с напочвенным покровом. Объект исследования – ельник кислично-зеленчуковый, расположенный в Московской области на территории УОПЭЦ «Чашниково». Почвы – дерново-подзолистые (Кириллова и др., 2015). В пространстве фитоценоза выделены тессеры, состоящие из следующих компонентов: повышение около ствола ели, подкroновое пространство и межкroновое пространство («окно»). Укосы надземной фитомассы напочвенного покрова отобраны с площадок 50x50 см, образцы лесных подстилок (погоризонтно) с площадок 25x25 в 17 тессерах. Учитывалась принадлежность видов к эколого-ценотическим свитам (Ниценко, 1969), а также отношение к кислотности, содержанию азота и общей обогащенности элементами питания (трофности) с помощью экологических шкал (Ellenberg, 1974; Раменский, 1956; Цыганов, 1983). С учетом доли биомассы вида в напочвенном

покрове для каждого укуса определили средневзвешенные баллы для точечных шкал и средневзвешенные середины интервалов для диапазонных. Изучены мощность и запасы всех горизонтов подстилок, фракционный состав верхних горизонтов. В подстилках определены рН водной суспензии, а также содержание зольных элементов методом сухого озоления (450°C). Определена зольность растений напочвенного покрова с целью расчета запаса в нем зольных элементов. Обработка результатов проведена с помощью программ Excel и Statistica.

Состав напочвенного покрова определяется положением в системе ствол-крона-окно, которую создает ель как эдификатор. В приствольных повышениях выявлено 12 видов, под кронами – 12, а в окнах 19. Число эколого-ценотических свит соответственно, 6, 6 и 11. Высокое разнообразие видов и свит в окнах связано, по-видимому, с условиями освещения – у стволов и под кронами могут существовать преимущественно теневыносливые виды. У стволов в напочвенном покрове преобладают виды еловой кисличной свиты (кислица обыкновенная), под кронами и в окнах – виды неморальной теневой свиты (зеленчук желтый, звездчатка жестколистная). Наличие сорно-рудеральных и нитрофильных видов, мало типичных для такого леса (недотрога обыкновенная, пикульник красивый) связано с антропогенным влиянием. Биомасса напочвенного покрова в приствольных пространствах значимо ниже, чем в других компонентах тессеры (не выше 30 г/м²). Экологическая оценка напочвенного покрова с помощью комплекса шкал позволила установить закономерности распределения экологических характеристик напочвенного покрова в пределах тессер. По соотношению экологических групп видов, а также различию средневзвешенных баллов в разных компонентах тессер диагностируется повышенная кислотность в приствольных пространствах. Трофность, определенная по напочвенному покрову, напротив, выше в подкроновых и межкроновых пространствах, нежели у стволов. Запасы зольных элементов в наземной части напочвенного покрова существенно не различаются, хотя и наблюдается тенденция к увеличению от приствольных повышений к межкроновым пространствам – в приствольях, под кронами и в окнах они составляют соответственно 0-5, 2.5-7.5 и 2.5-13 г/м².

Наиболее часто встречаемый тип подстилки – гумифицированный (Богатырев, 1990). Он же преобладает в приствольном пространстве (61%), а также в подкроновом (72%). В окне преобладает ферментативный тип подстилок (61%). Таким образом, в большинстве исследуемых подстилок депонировано большое количество органического вещества, что позволяет сделать вывод о низкой скорости их разложения. Мощность подстилок уменьшается в ряду ствол-крона-окно. Изучение фракционного состава горизонтов L в пределах тессеры показало, что у ствола и под кроной преобладающими фракциями являются ветки, в межкроновом пространстве – листья. Сокращение поступления веток и хвои в

межкроновом пространстве обусловлено влиянием дерева-эдификатора, а увеличение доли листьев в межкроновом пространстве большей вероятностью их накопления в этой точке тессеры. В горизонте L доля легкоразлагаемых компонентов (опад трав и листья) увеличивается в 2 раза от ствола к межкроновому пространству. Запасы лесной подстилки существенно различаются в зависимости от их принадлежности к определенному компоненту тессеры. Максимальные запасы характерны для приствольных повышений и составляют в среднем около 4500 г/м^2 . По мере продвижения к кроне и окну общие запасы значительно уменьшаются – 3424 и 2246 г/м^2 соответственно. Соотношение запасов горизонтов L и F в сложных подстилках наиболее высоко в подкроновых пространствах, тогда как минимальное – у стволов. То же относится к соотношению L /H. Данные соотношения отражают скорость разложения опада, то есть низкое значение соответствует повышенному накоплению недоразложенного детрита в составе горизонтов F и H, в то время как высокое – интенсивному разложению горизонта L без промежуточных стадий в виде других горизонтов.

Кислотность подстилок значительно ниже в приствольных пространствах, нежели в подкроновых и межкроновых, причем это касается всех горизонтов подстилки. Причиной могут быть, в частности, кислотные продукты, поступающие с дождевыми водами, стекающие по стволу и крупным ветвям, а также кислые продукты разложения хвойного опада, доля которого максимальна в приствольной части тессеры. Различия кислотности подстилок между кронами и окнами не столь существенны. В приствольном пространстве запасы зольных элементов горизонтов L и F также отличается от других участков тессеры в меньшую сторону. Меньшая зольность разлагающегося опада является дополнительным фактором более медленного разложения органического вещества и более высокой кислотности. Запасы зольных элементов почти во всех фракциях горизонта L также характеризуются наименьшим значением в приствольных пространствах. Запасы зольных элементов в легкоразлагаемых компонентах, вносящих наибольший вклад в биологический круговорот, у стволов составляет около 5 г/м^2 , тогда как в других компонентах тессеры – более $13-15 \text{ г/м}^2$. Зольные элементы и их запас непосредственно определяют скорость разложения опада и, как следствие, характер органофилия и лесорастительных условий на уровне структурной единицы фитоценоза.

Эколого-ценотическая структура напочвенного покрова в целом адекватно отражает химические свойства и показатели функционирования лесных подстилок. Сравнительно повышенная актуальная кислотность подстилок у стволов хорошо коррелирует с видами, указывающими на эти условия в рамках экологических шкал. Показатели лесных подстилок,

напрямую указывающие на относительную обогащенность элементами питания, такие как зольность, запас зольных элементов в легко разлагаемых фракциях, погоризонтное соотношение запасов органического вещества и запасов зольных элементов – адекватно отражаются характеристиками напочвенного покрова, определенными по шкалам трофности.

ЛИТЕРАТУРА:

- Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118-127.
- Ильина Т.М., Сапожников А.П. Лесные подстилки как компонент лесного биогеоценоза // Вестник КрасГАУ. 2007. Вып. 5. С. 45-48.
- Кириллова Н.П., Силева Т.М., Ульянова Т.Ю., Розов С.Ю., Ильяшенко М.А., Макаров М.И. Цифровая почвенная карта УОПЭЦ Чашниково МГУ им. М.В. Ломоносова // Вестник МГУ. сер. 17. Почвоведение. 2015. № 2. С. 22-29.
- Ниценко А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Бот. журн. 1969. Т. 54. № 7. С.1002—1014.
- Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
- Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 196 с.
- Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Gottingen: Goltze, 1974. 97 p.

СОСТАВ И СТРУКТУРА ТРОФИЧЕСКИХ НИШ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ «ПОДВЕШЕННОГО» ОПАДА, КАК УНИКАЛЬНОГО СУБСТРАТА ТРОПИЧЕСКОГО МУССОННОГО ЛЕСА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК ДОНГ НАЙ, ЮЖНЫЙ ВЬЕТНАМ) ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

С.М. ЦУРИКОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва

Тропические леса известны своим высоким биологическим разнообразием, во многом определяемым большим разнообразием предоставляемых экологических ниш. Одним из таких субстратов тропического леса является «подвешенный» опад – листовой и веточный опад, удерживаемый гифами марасмиоидных грибов (*Marasmius* и др.) в нижней части полога леса (Snaddon, 2011). Данная экологическая ниша встречается только в условиях тропического леса. Накопление опада в кронах тропических лесов увеличивает гетерогенность леса и обеспечивает дополнительное пространство для разнообразных сообществ беспозвоночных животных, которые, в противном случае, были бы ограничены напочвенным опадом (Ellwood and Foster, 2004). Гифы гриба могут удерживать до 257.3 кг опада на гектар тропического леса (Snaddon, 2011), что более чем в два раза больше, чем масса опада, удерживаемая всеми эпифитами на такую же площадь (Nadkarni and Matelson, 1991; Paoletti et al., 1991). Растительная биомасса, удерживаемая в воздухе, является

потенциальным ресурсом для многочисленных сапрофагов. Несмотря на высокую биомассу и уникальность субстрата, на настоящий момент информация о численности беспозвоночных «подвешенного» опада практически отсутствует, тем более ничего не известно про трофическую структуру населяющих этот субстрат беспозвоночных. Целью нашей работы является определение состава и структуры трофических ниш беспозвоночного населения «подвешенного» опада, как характерного и уникального субстрата тропического леса. Решение данного вопроса может приблизить нас к пониманию причин высокого таксономического разнообразия тропических лесов. Для определения структуры трофических ниш использовали анализ стабильных изотопов азота и углерода – метода, который уже на протяжении нескольких десятилетий успешно используется в трофической экологии (Тиунов, 2007; Tibbets et al., 2008). Мы ожидали обнаружить высокое таксономическое разнообразие беспозвоночных «подвешенного» опада, несмотря на то, что этот субстрат изолирован от почвы и, соответственно, должен включать в себя меньший диапазон ресурсов. Это должно определять и меньший диапазон «изотопных» трофических ниш. Основная масса субстрата «подвешенного» опада представлена отмершими растительными остатками, следовательно, сапрофаги должны значительно преобладать в составе населения этого субстрата.

Одними из наиболее массовых и функционально значимых сапрофагов леса являются панцирные клещи (Acari: Oribatida), поэтому они нами выбраны как основной объект исследования.

Отбор проб проходил в муссонном тропическом лесу национального парка Донг Най (бывший Кат Тьен), Южный Вьетнам. Представленные ниже результаты носят предварительный характер, поскольку основная часть материала в настоящий момент находится в обработке. В результате обследования 627 г сухой массы «подвешенного» опада обнаружено 4113 экземпляров почвенных беспозвоночных из 27 таксономических групп. Наиболее многочисленными были клещи (Oribatida, 345 экз./100 г опада, Mesostigmata, 141 экз./100 г) и коллемболы (Collembola, 57 экз./100 г). Все остальные группы в сумме составили 710 экз. (средняя плотность – 4 экз./100 г). Численность групп, относящихся к сапрофагам (в первую очередь Oribatida и Collembola) значительно превышала подобный показатель для других трофических групп, таких как, например, хищники (Staphylinidae, Carabidae, Aranei) и фитофаги (Curculionidae, основная часть Homoptera), что согласуется с нашей гипотезой. Для определения трофической структуры панцирных клещей «подвешенного» опада проведен изотопный анализ 8 наиболее массовых видов из разных трофических групп. В результате, изотопный состав орибатид «подвешенного» опада соответствует таковому у орибатид напочвенного опада (Tsurikov et al., 2019), что указывает на то, что базальный ресурс,

используемый орибатидами в обоих субстратах, одинаков, и органическое вещество почвы, вероятно, не играет существенной роли в питании орибатид. В любом случае, разнообразие беспозвоночных «подвешенного» опада очень высоко, и, основываясь на данных изотопного состава орибатид, разнообразие предоставляемых этим опадом ресурсов для сапрофагов также высоко. Однако для полного описания населения и структуры трофических ниш сапрофагов «подвешенного» опада необходимы данные и по другим группам беспозвоночных.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (№18–34–00830).

ЛИТЕРАТУРА:

- Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия РАН. Серия биологическая. 2007. № 4. С. 475–489.
- Ellwood M.D.F., Foster W.A. 2004 Doubling the estimate of invertebrate biomass in a rainforest canopy // Nature. 2004. V.429, 549–551.
- Nadkarni N.M., Matelson T.J. Fine litter dynamics within the tree canopy of a tropical cloud forest // Ecology. 1991. V.72, P. 2071–2082.
- Paoletti M.G., Taylor R.A.J., Stinner B.R., Stinner D.H., Benzing D.H. Diversity of soil fauna in the canopy and forest floor of a Venezuelan cloud forest // Journal of Tropical Ecology. 1991. V.7, P. 373–383.
- Snaddon J.L., Turner E.C., Fayle T.M., Khen C.V., Eggleton P., Foster W.A. 2011. Biodiversity hanging by a thread: the importance of fungal litter-trapping systems in tropical rainforests // Biology letters. 2011. V.8, №3, 397–400.
- Tibbets T., Wheelless L., Martinez del Rio C. Isotopic enrichment without change in diet: an ontogenetic shift in $\delta^{15}\text{N}$ during insect metamorphosis // Functional Ecology. 2008. Vol. 22. P. 109–113.
- Tsurikov S.M., Ermilov S.G., Tiunov A.V. Trophic structure of a tropical soiland litter-dwelling oribatid mite community and consistency of trophic niches across biomes // Experimental and Applied Acarology (in press). 2019. doi: <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00374-4>

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА ПРИ СВЕДЕНИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСОВ

Т.И. ЧЕРНОВ, А.Д. ЖЕЛЕЗОВА

Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАН, Москва, Россия

Была изучена численность различных групп микроорганизмов, а также химические свойства тропических почв южного Вьетнама под различной растительностью. Было оценено изменение этих свойств при утрате естественной растительности – слабонарушенных человеком муссонных лесов – и замене их травянистыми сообществами, а также при посадке на нарушенных территориях вторичных лесов. Объектами исследования: почвы территории национального парка Кат Тьен (южный Вьетнам):

- 1) бурая тропическая почва на вулканических отложениях под слабонарушенным муссонным лесом,
- 2) стагносоль под слабонарушенным лесом с преобладанием *Dipterocarpus*,
- 3) стагносоль под травянистой растительностью, установившейся на месте сведенных лесов,

4) стагносоли под посадками смешанного леса местных пород деревьев возраста около 20 лет,

5) стагносоли под посадками леса с преобладанием *Dipterocarpus* возраста более 30 лет.

С данных площадок отбирались образцы поверхностного горизонта почвы (0–5 см) в 10-кратной пространственной повторности, расстояние между точками отбора составляло 5–10 метров. В отобранных образцах анализировались химические свойства почвы (содержание углерода и азота, pH), экстрагировалась общая ДНК и анализировалась численность генов бактерий, архей и грибов при помощи количественной ПЦР (real-time PCR).

Почвы под слабонарушенными человеком муссонными лесами характеризовались наиболее высоким содержанием углерода (до 7%) и азота (до 0.6%), а также наибольшим содержанием генов бактерий и архей. Наименьшее содержание C, N и генов бактерий и архей отмечалось в почвах под посадками вторичных лесов. Содержание генов грибов было максимально в стагносоли под естественным лесом, а минимально – в почвах под вторичными лесами и в вулканической почве под естественным лесом (вероятно, из-за эдафических особенностей вулканической почвы).

Пространственная вариабельность содержания C и N, а также численности генов микроорганизмов в почвах под естественными лесами и травянистыми сообществами была выше, чем в почвах под посадками леса.

Таким образом, химические и биологические свойства тропических почв южного Вьетнама значительно изменяются при сведении естественных лесов: содержание углерода и азота может уменьшаться в 2–3 раза, а численность микроорганизмов – более чем на порядок. При посадке вторичных лесов различного состава восстановления естественных свойств этих почв не происходит как минимум в течение 20–30 лет, более того, почвы под искусственными лесопосадками характеризуются даже более низким содержанием C, N и численностью микроорганизмов, чем почвы под естественными травянистыми сообществами на месте сведенных лесов.

**Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-34-00114.*

СЕКЦИЯ 6. Мониторинг лесных почв



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СЛОЕ ПОЧВЫ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ

Н.В. БАРАНОВСКИЙ¹, А.Э. НИ¹, В.И. МАКСИМОВ¹, А.С. РАЗВА¹, А.В. БАЗАРОВ²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

²Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ

Лесные пожары превратились в катастрофическое явление из природного регулирующего фактора (Кузнецов и Барановский, 2009). Пожары в лесу оказывают влияние на атмосферу, почвы, водосбор, растительность и живые организмы. Целью настоящей работы является теоретическое и экспериментальное исследование режимов теплового воздействия на почвы при пожарах растительности.

Разработан экспериментальный стенд (Baranovskiy et al, 2018) для моделирования теплового воздействия от инертного нагревателя, который через контроллер и аналого-цифровой преобразователь подключен к персональному компьютеру. В качестве чувствительного элемента использована гребенка термодатчиков, которые были закреплены с интервалом в 1 см для измерения температуры нагревателя и внутри почвы на разной глубине. На персональном компьютере установлено специализированное программное обеспечение LabView. Была проведена серия опытов при заданной температуре нагревателя. Проведена статистическая обработка данных и рассчитаны доверительные интервалы для температур нагревателя и в глубине почвы в течение всего временного промежутка эксперимента.

Разработана математическая модель теплопереноса в слое почвы при воздействии источника повышенной температуры. Математически теплоперенос в слое почвы описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями. Проведено сценарное моделирование теплового воздействия для различных параметров лесных пожаров. Представлены результаты сравнительного анализа экспериментальных данных и теоретических следствий, полученных с использованием математического моделирования.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Научный проект № 17-29-05093.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 С.
Baranovskiy N., Razva A., Maksimov V., Bazarov A. Experimental equipment to simulate fire impact on surface soil layer in forests // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2018. Vol. 18 (3.2), pp. 189-196.

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОЧВ В ТЕПЛОМ ДИАПАЗОНЕ НА ОТВАЛАХ БОРОДИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

А.А. БИКМУРЗИНА

Сибирский федеральный университет
Институт леса им. В.Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН

В результате промышленного освоения территории в районах добычи угля происходит значительное преобразование естественных ландшафтов с нарушением почвенного покрова. При складировании вскрышных пород образуются отвалы, на которых в процессе посттехногенной эволюции формируется уникальный почвенный покров. Особенности формирования почв на техногенном элювии отвалов определяются как технологией отсыпки отвалов, так и сценарием развития биоценоза. Для объективной оценки состояния почв на отвалах разного возраста и типа необходимо разрабатывать современные технологии, позволяющие оперативно получать инструментальные данные, исключая субъективный подход. (Сметанин., 2000), (Шишкин., 2016), (Шугалей и др., 2015).

Целью настоящей работы является изучение структурной организации реплантоземов и литостратов на рекультивированных отвалах Бородинского бурогоугольного разреза.

Для достижения цели исследования оценивали строение профилей реплантоземов и литостратов, под различными растительными ассоциациями, на основе результатов радиометрической съемки в тепловом диапазоне.

Исследования проводятся на экспериментальном полигоне Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, заложенном на территории Бородинского бурогоугольного разреза в Красноярском крае, который расположен в пределах Канской котловины, на восточной окраине лесостепной зоны Средней Сибири. Площадь месторождения составляет более 4 тыс.км² (Шишкин., 2016). Среднее годовое количество осадков 200-400 мм (Ефимов и др., 2014). Основная масса вскрышных пород представлена суглинками и песчано-глинистыми отложениями юрского, мелового и четвертичного возраста. Породы не засолены, имеют делювиально-аллювиальное происхождение и вполне пригодны для выращивания травянистых и лесных растений. В районе исследований фоновыми являются черноземы и серые почвы (Трефилова и др., 2014), (Шугалей и др., 2015).

Объектом исследований являлись реплантоземы и литостраты на отвалах разного возраста от 6 до 36 лет. Возрастное состояние отвалов (молодые, средневозрастные, старые) дано по работе В. А. Андроханова и В. М. Курачева (Андроханов и др., 2010). На пробных площадях (отвалах) выбирались репрезентативные участки, закладывался почвенный разрез,

проводилось морфологическое описание разрезов, радиометрическая съемка вертикальной стенки разреза тепловизором FlirC2. Основные технические характеристики системы ИК-съемки FLIR, такие как широкий спектральный диапазон (от 7.5 до 13 мкм), диапазон измеряемой температуры ($-10 \dots +350^{\circ}\text{C}$), а также чувствительность (0.1°C), соответствуют поставленной задаче и позволяют провести измерения с необходимой точностью (Пономарев и др., 2012). Снимаются почвенные разрезы сразу после того, как их выкопают. Над разрезом устанавливается экран для предотвращения попадания прямых солнечных лучей и неравномерного нагревания стенки. Съемку ведут перпендикулярно стенке разреза с расстояния, позволяющего захватить весь почвенный профиль (от 50 до 200 см). Для последующего масштабирования изображения при съемке профиля устанавливаются метки глубины, через каждые 10 см. Изображения, полученные с помощью радиометра в тепловом диапазоне, автоматически калибруются. В результате для каждого почвенного разреза получают массив данных радиометрических температур.

Количество получаемых значений радиометрической температуры почвы может варьировать в зависимости от условий съемки. В среднем изображение имеет размер 100×50 пикселей. Размер пикселя зависит от расстояния до стенки почвенного разреза при выполнении съемки, в среднем составляет 1–2 см. Радиометрические данные с помощью программных средств сохраняли в формате массива калиброванных данных, которые использовали для дальнейшего анализа. Массивы данных, представленные в виде пространственных диаграмм, являются радиометрическими “портретами” конкретного почвенного профиля. Отличия и особенности строения почвенных профилей на исследуемых отвалах выявляли по радиометрическим “портретам” (Пономарев и др., 2012).

Таким образом, результаты радиометрической съемки позволяют выявить структурную организацию и дать количественную характеристику процессам начальной стадии почвообразования почв на отвалах. Конфигурации изотермических полей, мощность и характер перехода горизонтов отличаются в почвах на одном отвале под разными растительными ассоциациями, что объясняется проникающей способностью корневой системы растений и количеством фитомассы, поступающей с опадом на поверхность почвы.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-04-00589)*

Научный руководитель – канд. биол. наук Т. В. Пономарева.

ЛИТЕРАТУРА:

- Сметанин В.И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель. Москва: Колос. 2000. 96 с.
Шишкин А.С. Организация исследований техногенных территорий // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 102–119

Шугалей Л.С., Чупрова В.В. Почвообразование в техногенных ландшафтах; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск. 2015. 239с.

Трефилова О.В., Гродницкая И.Д., Ефимов Д.Ю. Динамика эколого-функциональных параметров реплантоземов на отвалах угольных разрезов Центральной Сибири // Почвоведение, 2014. № 1. С. 109-119.

Ефимов Д.Ю., Шишкин А.С. Растительный покров рекультивированных отвалов угольных разрезов Канской лесостепи // Известия Самарского научного центра. 2014. Т. 16, № 5. С. 196–201

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

Пономарев, Е. И. Съёмка в тепловом диапазоне при исследовании физических свойств почв / Е. И. Пономарев, Т. В. Пономарёва // Мат-лы докладов VI Съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. С. 54–55.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ-АКТИВНОЙ БИОМАССЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО МАТЕРИАЛАМ «СОПERNICUS» ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Г.П. ГЛАЗУНОВ, М.В. ЕВДОКИМОВА, Р.П. ТИТАРЕВ, М.В. ШЕСТАКОВА

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

Критериями для оценки степени загрязнения почв химическими веществами на землях сельскохозяйственного назначения и населённых пунктов являются санитарно-гигиенические показатели их ПДК и ОДК в почвах. Однако, в большинстве случаев за пределами территорий санитарно-защитных зон крупных промышленных предприятий реципиентами химического загрязнения являются экосистемы, расположенные на землях лесного фонда, на которые санитарно-гигиенические критерии не распространяются. На практике в таких случаях для оценки воздействия промышленных предприятий на компоненты окружающей среды прибегают к экспертной оценке. Готовых алгоритмов решения задач по оценке воздействия и интерпретации результатов мониторинга состояния окружающей среды нет. Уровень загрязнения почв химическими веществами сравнивают с их фоновыми концентрациями или с концентрациями на эталонных участках. При этом не учитывается полиэлементный характер загрязнения почв и период воздействия источника загрязнения. Ситуация также осложняется явлениями сезонной динамики, присущими лесным экосистемам.

При отсутствии нормативов качества окружающей среды экологической оценке предшествует построение и анализ экспериментальных дозовых зависимостей с целью получения пороговых значений, пригодных для нормирования и оценки качества компонентов среды. Проблемы, требующие решения при выполнении этой задачи, и предложения по их решению являются предметом данной работы и обуславливают её актуальность.

Районом исследования был участок «Ямская степь» государственного природного заповедника "Белогорье", расположенного на северо-востоке Белгородской области, в зоне влияния крупного горно-обогатительного комбината.

Исследуемая территория расположена в бассейне реки Оскол на выровненном водоразделе, покрытом преимущественно миграционно-мицеллярными чернозёмами на карбонатных лёссовидных суглинках и глинисто-иллювиальными чернозёмами на бескарбонатных лёссовидных суглинках под различными вариантами степей (Русаков, 2012). Почвы заповедника загрязняются тяжелыми металлами, содержащимися в пыли, поступающей с горно-обогатительного комбината по воздуху (Бакунович, Хохлова, Мякшина и др., 2016).

Данные по валовому содержанию (мкг/г) тяжёлых металлов (Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Pb) в почвах мониторинговых площадок на территории заповедника были взяты из работы (Бакунович, Хохлова, Мякшина и др., 2016). В качестве меры концентрации фотосинтетически активной биомассы на мониторинговых площадках, каждой из которых был поставлен в соответствие один пиксель, использован вегетационный индекс NDVI, значения которого находили по материалам Copernicus (Sentinel 2), полученным из открытого источника: <https://scihub.copernicus.eu>.

Временную динамику и закономерности пространственного изменения концентрации фотосинтетически активной биомассы, моделировали с использованием решения, полученного ранее (Гендугов, Глазунов, 2014) в рамках представлений сплошной среды.

Показано, что при условии введения постоянной для каждой мониторинговой площадки (пикселя) результирующей (в форме среднего геометрического) начальной концентрации содержащихся в почве тяжёлых металлов (Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Pb) в константы уравнения, одномодальная сезонная динамика вегетационного индекса подчиняется теоретическому уравнению, константы и особые точки которого являются индивидуализирующими характеристиками каждой площадки (пикселя). При условии введения в константы уравнения фиксированного времени закономерности пространственного изменения вегетационного индекса по мониторинговым площадкам (пикселям) с одинаковыми, помимо концентрации тяжёлых металлов, почвенными свойствами, сведены к уравнению дозовой зависимости, константы и особые точки которого являются индивидуализирующими характеристиками отклика фотосинтетически активной биомассы (NDVI) на результирующую начальную концентрацию в почве тяжёлых металлов данного набора.

Значение вегетационного индекса NDVI закономерно (с разной теснотой связи)

изменяется в зависимости от результирующей концентрации в почве комплекса загрязняющих веществ, что позволяет определить пороговую величину концентрации и ранжировать почвы по содержанию загрязняющих веществ на основе особых точек модели.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-34-00037 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА:

Бакунович Н.О., Хохлова О.С., Мякшина Т.Н., Русаков А.В., Шаповалов А.С. Загрязнение тяжелыми металлами и дыхательная активность микроорганизмов в нативных почвах и искусственных субстратах (на примере заповедного участка "Ямская степь") // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 131-149.

Гендугов В.М., Глазунов Г.П. Макрокинетическая модель микробного роста на многокомпонентном субстрате // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2014. № 3. С. 10-16.

Русаков А.В. Почвы и почвенный покров Ямской степи. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012.

ПОТОКИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ЗОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.Ю. ЕЛСУКОВА, М.Г. ОПЕКУНОВА

Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург

Оценка экологического состояния почв на территории, подверженной воздействию комбината Североникель, проводятся сотрудниками кафедры геоэкологии и природопользования СПбГУ с 2001 года. В июле 2018 г. заложено 7 геоэкологических профилей состоящих из 21 пробной площади. Для изучения миграции веществ в ландшафте пробные площади находятся на разных элементах рельефа. В соответствии с розой ветров исследованная территория располагается в южном направлении от комбината на расстоянии 3 км, 6 км, в районе ПАБСИ, в 12 км, на водосборе реки Вите в 23 км, на территории Лапландского заповедника, на территории водосбора реки Курки в 36 км от г. Мончегорска.

На каждой пробной площади сделано описание рельефа, почв, растительности. Пробы почв отбирают методом конверта из органогенного и иллювиального горизонтов. Всего отобрано 50 проб почв и 10 проб корки *Pinus Sylvestris L.* Валовое содержание ТМ Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ba и Pb в почве и в корке определено в лаборатории ВСЕГЕИ методом ICP-OES. Подвижные формы ТМ определены атомно-эмиссионным методом в Ресурсном центре СПбГУ. Определена актуальная и потенциальная кислотность почв. Выполнена установка ловушек из мха (*Sphagnum palustre L.*) и лишайника (*Cladonia sp.*) на три месяца на четырех профилях – в г. Мончегорске, в 3 км от комбината, на водосборе реки Вите и в районе ПАБСИ. Мхи и лишайники отобраны в Ленинградской области. В пробах

определены концентрации Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn и Fe на атомно-абсорбционном спектрометре. В качестве вытяжки использована азотная кислота. В данной работе речь пойдет о почвах.

Минимальная концентрация подвижного Ni горизонте O обнаружена на расстоянии 6 км и равна 7 мг/кг. Максимальная концентрация обнаружена на расстоянии 12 км, она равна 414 мг/кг. Содержание Ni в горизонте O на всех площадках превышают ПДК. Концентрации Ni в горизонте B ниже, чем в горизонте O. Максимальная концентрация Ni в горизонте B на исследованных профилях равна 137 мг/кг, что в 34 раза превышает норматив.

Для валового содержания Ni на всех площадках выявлены превышения норматива (ОДК 40 мг/кг). Хорошо прослеживается закономерность распределения тяжелых металлов по градиенту в верхнем почвенном горизонте – от первого профиля содержание увеличивается и своего максимума достигает на расстоянии 12 км от комбината. В верхнем горизонте валовое содержание Ni составляет в среднем – 3265 мг/кг, в горизонте B – 300 мг/кг.

Превышения ПДК подвижных форм Cu (3 мг/кг) выявлено на всех исследованных площадках в верхнем и нижнем горизонтах. Также на всех площадках концентрация Cu в верхнем горизонте больше, чем в иллювиальном горизонте. На территории в районе ПАБСИ концентрации Cu незначительно превышают ПДК. Наибольшее количество подвижной Cu в верхнем горизонте наблюдается на расстоянии 12 км от комбината (средняя концентрация – 254 мг/кг, максимальная – 532 мг/кг). Здесь же и самая большая амплитуда между значениями подвижной формы Cu в верхнем и нижнем горизонтах. По верхнему почвенному горизонту прослеживается закономерность накопления – концентрации растут от первого профиля (г. Мончегорск) и достигают максимума в 12 км от комбината, далее концентрации уменьшаются.

Валовое содержание Cu в верхнем горизонте в несколько раз превышает содержание в нижнем горизонте на всех площадках. Значения концентрации Cu в почве в районе ПАБСИ является минимальной. На расстоянии 12 км от источника загрязнения средняя концентрация Cu в верхнем почвенном горизонте составляет 1474 мг/кг, максимальная – 3090 мг/кг, что в 47 раз превышает норматив. Из всех площадок максимальные концентрации Ni в горизонте B обнаружены на расстоянии 12 км (средняя – 217 мг/кг, наибольшая – 606 мг/кг). Минимальное содержание Cu в почвенном горизонте B приходится на самый дальний профиль, расположенный на территории Лапландского заповедника.

Содержания подвижного Co на всех пробных площадках не превышают норматив, за исключением площадки на расстоянии 12 км (среднее – 9, максимальное – 32 мг/кг). На

большинстве площадок концентрации Co в верхнем почвенном горизонте в несколько раз выше, чем в иллювиальном. В районе ПАБСИ концентрации Co минимальны. Для валового содержания максимум наблюдается в горизонте O на расстоянии 12 км (среднее – 306, максимальное 766 мг/кг). В горизонте B все значения не превышают норматив, за исключением профиля на расстоянии 12 км (109 мг/кг).

Для Cd концентрация подвижных форм в верхнем горизонте достигает максимума на расстоянии 17 км от комбината (1,16 мг/кг). Все полученные значения валового Cd на всех пробных площадках ниже ОДК (1 мг/кг), кроме значения, полученного на расстоянии 17 км в верхнем почвенном горизонте (среднее 1,01, максимальное 1,16 мг/кг). Тенденция накопления Cd в верхнем почвенном горизонте.

На большинстве площадок концентрации в верхнем почвенном горизонте подвижного Zn выше, чем в нижележащем. Также значения концентраций не превышают норматив (23 мг/кг) за исключением площадки на расстоянии 32 км (29 мг/кг). В горизонте B концентрация Zn на расстоянии 17 км достигает максимума (7 мг/кг), затем уменьшается. Все полученные значения валовых концентраций цинка в почве ниже норматива (110 мг/кг). Валовое содержание Zn в горизонте B превышает таковое в горизонте O на всех исследованных площадках. Максимум в горизонте O – 89 мг/кг, в горизонте B – 94 мг/кг на расстоянии 32 км.

Максимальное значение подвижного Fe в горизонте B наблюдается в верхней части склона на расстоянии 17 км (528 мг/кг), что почти в 4 раза больше чем в горизонте O . Максимальное значение концентраций в горизонте B обнаружено на расстоянии 32 км (1090 мг/кг). На всех исследованных площадках валовое содержание Fe в горизонте B больше, чем в горизонте O . Количество Fe увеличивается с удалением от комбината. Максимальная концентрация в горизонте B , находится на расстоянии 41 км – 62650 мг/кг.

Pb распределен по территории равномерно, его содержание не зависит от расстояния до комбината. Содержание подвижных форм незначительно превышает ПДК (до 9 мг/кг), содержание валовых форм находится в пределах норматива и достигает 67 мг/кг.

Сравнивая результаты, полученные в 2018 году, с результатами за прошедшие годы, можно сделать вывод, что с течением времени концентрации тяжелых металлов в почве в целом снижаются, что связано непосредственно с сокращением выбросов предприятием и проведением мероприятий в области охраны окружающей среды. Тем не менее, сохраняется высокое содержание поллютантов в почве.

Концентрации таких металлов как Ni, Cu, Co, Cd, Cr и Pb в О-горизонте выше, чем в В-горизонте, это говорит об аэропереносе этих веществ. Такие элементы как Sc, V, Cr, Fe и Zn в верхнем почвенном горизонте имеют минимальные концентрации.

На расстоянии 12 км наблюдаются максимальные концентрации, как подвижных форм, так и для валового содержания Ni, Cu, Co. Накопление основных тяжелых металлов в почвенной катене характеризуется следующим образом: для вершин характерны наименьшие концентрации тяжелых металлов, к середине склона концентрации тяжелых металлов увеличиваются, а в нижней части характеризуются максимальными значениями.

** РФФИ 18-05-00217 А «Биогеохимические индикаторы техногенной трансформации потоков тяжелых металлов в ландшафтах».*

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЧЕДИ-ХОЛЬСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ ТУВЫ

В.Н. ЖУЛАНОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тувинский государственный университет», г. Кызыл

Земельный фонд Республики Тувы составляет 16860,4 тыс. га. Большая часть площади республики занята землями лесного фонда (64,5%) (Жуланова, 2016). В Туве насчитывается 10 лесничеств. Чеди-Хольское участковое лесничество входит в Тандинское лесничество, которое составляет 278,2 тыс. га или 2,5% от всей площади лесного фонда Тувы. Территория ГКУ лесничества относится к Алтае-Саянскому горно-лесостепному Южно-Сибирской зоны. Земли фонда на территории лесничества федеральной Российской Федерации. Ведущей экономики расположения лесхоза лесная промышленность, а лесозаготовительная. На данной территории лесничества наиболее распространены рододендроновой (57,8%) и (18,4%) группы леса. группа сосновыми насаждениями (43,5%) и лиственничными (30,4%).

Цель работы – изучение агрохимических и физических свойств почв леса Чеди-Хольского лесничества Тувы.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являются почвенный покров Чеди-Хольского района Республики Тува, который характеризуется значительным распространением сибирской лиственницы и довольно широким развитием степных участков на выпуклых склонах к широким долинам.

Для выявления районов распространения почвенных типов изучались картографические материалы, литературные и научные источники (Носин, 1963; Савич, Жуланова, Кащенко, Якимов, 2012), посвященные району исследования, а также собственные исследования автора.

Были заложены почвенные разрезы, где провели классификационное определение почв, морфологическое описание генетических горизонтов, цветное фотографирование местности и почвенных профилей, отбор образцов почв.

Химические и физико-химические показатели почв были определены в ФГБУ ГСАС «Тувинская»: гумус – по Тюрину (ГОСТ 26213-91), подвижный фосфор и калий – по Мачигину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91), рН водной вытяжки – потенциометрическим методом (ГОСТ 26423-85), емкость поглощения – по Бобко-Аскинази (ГОСТ 17401-84), гранулометрический состав – по Качинскому.

Результаты и их обсуждение. Площадь Чеди-Хольского участкового лесничества составляет 18% от всей площади Тандинского лесничества. Климат Чеди-Хольского района относят к резко континентальному, а в глубоких котловинах к ультраконтинентальному типу. Характерными являются весьма низкие годовые температуры, большая амплитуда температур, как в течение года, так и в течение суток. Продолжительность вегетационного периода 130 дней. Количество осадков в год выпадает 150-300 мм. Рельеф горно-котловинный. Преобладают крутизной до 15°, местами изрезанные оврагами.

Почвенный покров территории леса Чеди-Хольского района Тандинского лесничества представлен светло-серыми лесными почвами. Для морфологической характеристики светло-серых почв приводится описание разреза №66.

Разрез-66. Светло-серая лесная маломощная супесчаная почва. Чеди-Хольский район, подножья Восточного Танну-Ола. Пологий северный склон к центру Улуг-Хемской котловины, аб. высота 700-850 м. Лиственнично-березовый лес, с подростом из березы, редкого кедра и ели. Травянистый покров с преобладанием вейника, мышиного горошка, скобеи, майника. Вскипание от кислоты с 30 см.

A₀ (0-4 см) – лесная подстилка.

A₁ (4-11 см) – свежий, светло-серый, супесчаный, пороховато-комковатый, с большим количеством тонких корней, плотный, переход постепенный.

A₂B (11-15 см) – влажный, серо-белесоватый, супесчаный, непрочно-комковатый, встречаются обильно корни, плотный, переход постепенный.

V_1 (15-23 см) – влажный, серовато-бурый, супесчаный, мелкозернистый с кремнеземистой присыпкой, некрупный щебень, уплотненный, переход ясный по усиливающему вскипанию от НСІ.

V_K (23-32 см) – влажный, белесовато-серовато-бурый, связно песчаный, налеты карбонатов кальция на щебне, крупный песок, щебень и некрупная галька.

Среднее содержание гумуса в слое 0-10 см в светло-серой лесной почве равно 4,85% (высокое), а в слое 20-30 см – 1,95%. Подвижного фосфора содержится 8 мг/кг, а обменного калия – 60 мг/кг, ЕКО – 16 мг/100 г. почвы. Реакция почвенной среды нейтральная.

На глубине 20-30 см выявлено снижение гумуса почти в 2,5 раза (1,95%). Коэффициент вариации изменчивости гумуса на территории распространения данных почв от незначительного (7%) в верхнем слое до небольшого (11-18%) вниз по профилю (Савич, 1971).

Профиль светло-серой лесной почвы отличается практически однородным гранулометрическим составом: супесчаным в верхнем слое 0-20 см и связно-песчаным в слое 20-30 см. В слое 0-20 см приходится на мелкий песок (более 67%) и на крупную пыль (16%), на глубине 20-30 см идет увеличение мелкого песка (71%) и незначительное уменьшение крупной пыли (16,1%).

Таким образом, физическая глина в верхнем слое достигает всего 11,5%, состоит преимущественно из частиц средней и мелкой пыли. Ила очень мало (2,5-2,8%). Нетрудно заметить, что механические элементы, составляющие фракцию физической глины, вниз по профилю резко убывают и на глубине 20-30 см их в 1,6 раза меньше.

В светло-серой лесной почве запасы продуктивной влаги в слое 0-20 см равны 27,5 мм, а в слое 0-100 см 127,92 мм.

Таким образом, почвенный покров территории Чеди-Хольского района Тандинского лесничества представлен светло-серыми лесными почвами супесчаного гранулометрического состава. Среднее содержание гумуса в светло-серой лесной почве в слое 0-10 см равно 4,85% (высокое), а в слое 20-30 см – низкое. Обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием очень низкая. Влагообеспеченность в светло-серой почве в метровом слое и диапазон активной влаги в верхнем слое (0-20см) удовлетворительный.

ЛИТЕРАТУРА:

- Жуланова В.Н. Оценка земельных ресурсов и плодородия почв сельскохозяйственного назначения Тувы // Таврический научный обозреватель /электронный научный журнал, <http://tavr.science/stat/2016/02/TNO-7.pdf> №2 (7), февраль, 2016. С. 220-223.
- Носин В.А. Почвы Тувы. М: Изд-во АН СССР, 1963. 342 с.
- Савич В.И. Варьирование свойств почв во времени и пространстве // Докл. ТСХА, 1971. Вып. 162. С. 111-115.
- Савич В.И., Жуланова В.Н., Кашенко В.С., Якимов С.Н. Агроэкологическая оценка почв Тувы (1970-2010 гг.). М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2012. 440 с.

МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ НА ВАЛДАЕ

Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ¹, Д.В. КАРЕЛИН^{1,2}, О.В. ЧЕСТНЫХ^{1,3}, А.И. ИВАЩЕНКО³,
В.В. КАГАНОВ¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии

³ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, г. Москва

Температура и гидрологический режим почвы признаны ключевыми абиотическими факторами, контролирующими величину эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы (ЭПП). За последние два десятилетия в почвоведении получила распространение модель T&P модель (Raich and Potter, 1995; Raich et al., 2002), описывающая эмиссии с поверхности почвы как функцию среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы осадков. Температура и осадки в связи с глобальными изменениями климата заметно меняют свои значения. Глобальный тренд увеличения ЭПП для 1989-2008 гг., найденный при обобщении опубликованных экспериментально-полевых результатов, составил $0.1 \text{ Гт С год}^{-1}$ (Bond-Lamberty, Tompson, 2010). На территории Российской Федерации лишь небольшое число исследований ЭПП проводится в режиме долгосрочного мониторинга (Курганова и др., 2011, 2016). В 2009 г. на полигоне «Таежный лог» (Валдайский р-н, Новгородская обл.) стартовали работы по комплексному мониторингу потоков парниковых газов, включающие регулярные измерения ЭПП.

Оценку ЭПП осуществляли закрытым камерным методом по изменению концентрации в непрозрачных цилиндрических ПВХ-камерах объемом от 1.2 до 1.5 л и площадью 90 см^2 , вкопанных в почву на глубину 3-4 см в постоянных точках. Наземную растительность в камерах удаляли. Измерения концентрации CO_2 при закрытии камеры проводили с использованием газоанализатора LiCor-6200 (LiCor Inc., Небраска, США), а также приборами, собранными на основе сенсора AZ 7752 (AZ Instrument Corp., Тайвань). Камеры были установлены на постоянных трансектах: «короткой» (10 точек; 2009-2018 гг.) и «длинной» (50 точек; 2013-2018 гг.). Короткая трансекта расположена в 110-летнем ельнике мелкотравно-зеленомошным на дерново-подзолистой контактно-осветленной почве. Длинная трансекта охватывает еловые насаждения, участки распада и усыхания ельников, увлажненные низины. Измерения проводили в течение светлого времени суток раз в месяц

теплого периода (май-сентябрь). Наиболее полно объекты исследования и методики полевых работ представлены в источнике (Мониторинг потоков..., 2017). Среднегодовые температуры в районе исследований в 2009-2018 гг. варьировали от 4.2 до 6.2°C при среднем значении 5.2°C, что на 3.0 °C выше климатической нормы 1931-1960 гг. За 10 лет отмечается тренд к увеличению температуры, составляющий 0.04°C за 1 год.

Суточные величины ЭПП за май-сентябрь 2009-2018 гг. в мелкотравчато-зеленомошном ельнике (короткая трансекта) варьировали от 1.89 (12.05.2011) до 6.78 (24.07.2018) г С м⁻² сут⁻¹. В среднем за 10 лет, наиболее высокие значения ЭПП наблюдались в июле (4.28 г С м⁻² сут⁻¹), наименее – в мае (2.95 г С м⁻² сут⁻¹). Однако в некоторые годы максимальные значения могли наблюдаться в июне (2012) или в августе (2012, 2014, 2016, 2017). Коэффициенты корреляции суточных значений ЭЭП составляют с температурой воздуха 0.32 ($P<0.03$), с температурой почвы на глубине 10 см 0.70 ($P<0.01$), с влажностью почвы в слое 0-7 см -0.08 ($P=0.59$). ЭЭП в исследуемой экосистеме можно охарактеризовать как температурно-зависимую, однако в экстремальные погодные периоды (например, в августе 2010 г.) значения эмиссии контролировались низкой влажностью, и потому августовская ЭЭП в 2010 г (1.95 г С м⁻² сут⁻¹) оказалась наименьшей из всех значений, измеренных в летние месяцы 2009-2018 гг.

В том же ельнике в 1978 г. были проведены измерения ЭПП абсорбционным методом (Гришина др., 1979), что создало редкую возможность выявления долгосрочных изменений. Среднее значение ЭПП в 80-летнем ельнике за август-сентябрь 1978 г. составило 1.4 г С м⁻² сут⁻¹ при вариации от 1.2 (август) до 1.5 (сентябрь) г С м⁻² сут⁻¹. В 2009-2018 гг. среднее значение за август-сентябрь равнялось 3.65 г С м⁻² сут⁻¹. Отнеся наше значение к 2014 г., получим, что за 36 лет ЭПП с поверхности почвы увеличилась на 2.25 г С м⁻² сут⁻¹, что соответствует 0.06 г С м⁻² сут⁻¹ за 1 год. Для 2009-2018 г. также наблюдается тенденция к увеличению ЭЭП, характеризующаяся величиной 0.08 г С м⁻² сут⁻¹ за 1 год. Таким образом, полученные сведения подтверждают наличие локального тренда на увеличение почвенной эмиссии CO₂, причем тренд 0.06-0.08 г С м⁻² сут⁻¹ за 1 год выявляется как при сравнении с историческими данными, так и в современном мониторинге.

На основе совместного анализа данных, полученных на обеих трансектах, были выявлены 2 формы малоизвестных составляющих ЭПП (Карелин, 2014, 2017).

I. Дополнительное выделение CO₂ из почвы в результате патогенного усыхания древостоя (малый по площади, но мощный многолетний источник CO₂). В ходе наблюдений за почвенной эмиссией CO₂ авторами был впервые обнаружен эффект локального (в пределах 1–2 м² вокруг стволов), но значительного (в 3 раза выше фонового) и длительного

(круглогодично, на протяжении не менее 5 лет) усиления эмиссии в прикорневой зоне сухостойных стволов елей, погибших в результате засух и последующих эпидемий корневой губки и жуков-ксилофагов. В качестве наиболее вероятной причины эффекта выступает активизация дыхания патогенной грибной флоры в ризосфере погибших корней. Найденный эффект имеет значение в качестве дополнительного существенного увеличения источника CO₂ из почвы на 20–25% для площадей еловых лесов с распадом древостоя, при характерной для зрелой южной тайги плотности стволов.

II. Увеличение ЭПП в ответ на падение крупных стволов во время ветровалов. В сезоне 2012 г. был впервые инструментально зафиксирован выброс CO₂ из почвы в ответ на падение крупной ели в период ветровала 13–14 августа. Этот выброс, достигающий 4-кратного превышения среднемноголетнего уровня почвенной эмиссии CO₂ в ходе вегетационного сезона, продолжался не менее 5 сут. Площадь выброса близко соответствует площади покрытия упавшим стволом (10–30 м²). Вероятнее всего, это связано с физическим высвобождением CO₂ из почвы в результате десорбции и (или) со стимуляцией микроорганизмов через усиление аэрации почвенных пор.

Наличие многолетних трендов эмиссии CO₂ с поверхности почвы, а также открытие новых механизмов активизации этой эмиссии показывает, что изучение ЭПП в форме многолетнего мониторинга является актуальной формой получения научной информации.

**Исследование поддержано РНФ № 19-77-30015 (анализ данных), а также темами госзадания № АААА-А18-118052400130-7 Центра по проблемам экологии продуктивности лесов РАН № 0148-2019-0006 и Института географии РАН (полевые работы).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Гришина Л.А., Окунева Р.М., Владыченский А.С. Микроклимат и дыхание дерново-скрытоподзолистых почв ельников-кисличников // Организация экосистем ельников южной тайги. М.: Ин-т географии АН СССР. 1979. С. 70-85.
- Карелин Д.В., Замолотчиков Д.Г., Исаев А.С. Малоизвестные импульсные составляющие почвенной эмиссии диоксида углерода в таежных лесах // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475. № 4. С. 473-476.
- Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолотчиков Д.Г., Гитарский М.Л. Факторы пространственно-временной изменчивости потоков CO₂ из почв южно-таежного ельника на Валдае // Лесоведение. 2014. № 4. С. 56-66.
- Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Кудяров В.Н. Эмиссия со из почв различных экосистем южно-таежной зоны: анализ данных непрерывных 12-летних круглогодичных наблюдений // Доклады Академии наук. 2011. Т. 436. № 6. С. 843-846.
- Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Савин И.Ю., Шорохова Е.В. Баланс углерода в лесных экосистемах южного Подмосковья в условиях усиления засушливости климата // Лесоведение. 2016. № 5. С. 332-345.
- Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах / Ред. Д.Г. Замолотчиков, Д.В. Карелин, М.Л. Гитарский, В.Г. Блинов. Саратов: Амирит. 2017. 279 с.
- Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // Nature. 2010. V. 464. P. 579-582.
- Raich J.W., Potter C.S. Global patterns of carbon dioxide emission from soils // Global Biogeochem. Cycles. 1995. Vol.9. P. 23-36.
- Raich J.W., Potter C.S., Bhagawatti D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94 // Global Change Biol. 2002. V. 8. P. 800-812.

ДИНАМИКА СОСТАВА И КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ НА УЧАСТКАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДНО- НИКЕЛЕВОГО КОМБИНАТА

Л.Г. ИСАЕВА

Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты

Проблема восстановления лесных территорий, нарушенных воздушным промышленным загрязнением, имеет особую актуальность в Мурманской области, которая является одним из наиболее индустриально развитых регионов России. Здесь функционируют источники выбросов в атмосферу подкисляющих веществ и соединений тяжелых металлов – комбинаты «Североникель» и «Печенганикель». Результаты экспериментальных исследований позволили подтвердить, что регулирование почвенных условий является ключевым моментом в решении проблемы восстановления растительного покрова на территориях, подверженных действию выбросов медно-никелевых комбинатов на Кольском полуострове (Лукина и др., 2005).

Крупномасштабные работы по восстановлению растительности на техногенных пустошах вблизи комбината «Североникель» проводились лесохозяйственным предприятием (Мончегорский лесхоз) совместно с ИППЭС КНЦ РАН с 2003 по 2006 гг. (Исаева и др., 2011). Для восстановления растительности на техногенных пустошах в зоне влияния медно-никелевого производства были применены различные подходы. Одним из применяемых методов в окрестностях г. Мончегорск по восстановлению растительности было создание насыпного слоя на основе осадка сточных вод (ОСВ, песок, опилки). Участки с применением насыпного слоя на основе ОСВ расположены у поворота в г. Мончегорск с трассы «Мурманск-Санкт Петербург» и вдоль шоссе в г. Мончегорск от поворота почти до моста через железную дорогу.

Субстрат, состоящий из ОСВ (компостированный в течение 3-х лет), «перепревших» древесных опилок и карьерного песка, свозился автотранспортом на подготовленную площадку, находящуюся в непосредственной близости с территорией, предназначенной для рекультивации, затем перемешанный субстрат развозился по участкам. Толщина насыпного слоя на участках варьировала от 5 до 20 см. Для рекультивации техногенных пустошей использовались местные виды лиственных древесно-кустарничковых пород (береза, осина, ива и др.), высотой не более 1.0-1.5 м, с территории заброшенных и заросших древесно-кустарничковыми породами сельскохозяйственных земель в окрестностях г. Мончегорска.

Посадка древесно-кустарниковых растений в заранее подготовленные лунки проводилась в сентябре 2003 г., размещение посадочного материала в ряду через 2.0 м, расстояние между рядами – 2.5 м. Всего было высажено более 6000 лиственных деревьев и кустарников, по породному составу: ива (58%), береза (37%), осина, единично рябина. Непосредственно после высадки деревьев и кустарников выполнялось одновременно внесение кальция в виде извести, азотные удобрения и посев семян многолетних трав. Были использованы два вида травосмесей, в состав первой входили тимофеевка, овсяница тростниковая и луговая, кострец, второй – мятлик луговой, клевер красный и белый, овсяница луговая. Удобрения и семена многолетних трав равномерно разбрасывались между посаженными деревьями и кустарниками и разравнивались граблями.

Для контроля эффективности воздействия удобрений на питательный режим почв и функционирование растительности использовали обоснованные и широко применяемые аналитические методы листовой и почвенной диагностики: общий азот по Къельдалю; общий углерод по Тюрину; фосфор колориметрически; рН водной вытяжки потенциометрически; определения анализ общей и гидролитической кислотности почвы титриметрическими методами; концентраций металлов методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии.

В 2003 г. созданный почвенный слой (субстрат с внесением удобрений) был признан удовлетворительным для начальной стадии восстановительной сукцессии. Уровень содержания азота оценивался как высокий, а показатель C/N созданного почвенного слоя, содержание общего углерода и доступного фосфора на допустимом уровне. Средние значения доступных форм основных элементов питания были весьма далеки от таковых по лесным почвам даже зоны толерантности. Содержание доступных форм на минимально допустимом для лесных почв уровне характерно для кальция, магния, цинка, фосфора, марганца. Содержание алюминия, железа, никеля, кадмия, кобальта, свинца не превышает максимально допустимые уровни, отмеченные в лесных почвах, значимый дефицит характерен был лишь для калия.

Наблюдения за состоянием и разнообразием растительности, кислотностью и элементным составом почв и ассимиляционных органов древесно-кустарниковых пород осуществляли регулярно. Спустя 13 лет после проведения ремедиационных мероприятий на данной территории высота лиственных древесно-кустарниковых пород варьирует от 0.5 до 4.6 м, общее покрытие травяно-моховым ярусом – от 15 до 95%, имеются всходы самосева ивы и березы от 800 до 6000 шт/га. В напочвенном покрове преобладают хвощ и злаковые растения. С 2005 по 2011 гг. показатель рН почвы почти не изменялся (5.23-5.35), по результатам анализа в 2014 и 2016 гг. это значение равно 4.98 и 4.84 соответственно.

Показатель C/N остается на допустимом уровне. Средние значения доступных форм основных элементов питания (Ca, Mg, K) имели тенденцию к понижению и остаются значительно ниже по сравнению с показателями в лесных почвах фоновых территорий. Содержание доступных для растений форм Ni и Cu с 2004 по 2011 гг. оставалось без значимых изменений, а в 2014 и в 2016 гг. концентрации Ni увеличились в 1.5 раза, содержание доступных форм Cu в 2016 г. в 1.7 раз по сравнению с 2011 годом. В 2016 г. почти в два раза сократились в почве концентрации доступного для растений Mn по сравнению с 2014 г. Несмотря на удовлетворительное состояние растительности, результаты исследований подтверждают увеличение воздушных промышленных загрязнений и кислотной нагрузки комбинатом «Североникель».

** Исследования выполнены в рамках Госзадания (№ АААА-А18-118021490070-5) и частично при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60-142_Арктика)*

ЛИТЕРАТУРА:

Исаева Л.Г., Лукина Н.В., Горбачева Т.Т., Белова Е.А. Ремедиация нарушенных территорий в зоне влияния медно-никелевого производства // Цветные металлы. 2011. № 11. С. 66-70.

Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаёжных лесах М.: Наука, 2005. 245 с.

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ» (Г. МОНЧЕГОРСК, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

К.А. КАДЫГРОБ, Е.И. ГОЛУБЕВА, М.В. ЗИМИН

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет

Одним из главных промышленных центров Мурманской области является город Мончегорск. Выбросы в атмосферный воздух от расположенного здесь комбината цветной металлургии «Североникель» АО «Кольская ГМК» по данным на 2017 год составили 44.2 тысяч тонн. Предприятие заняло второе место по загрязнению атмосферы в Мурманской области (Доклад о состоянии..., 2017). Попадание тяжёлых металлов, являющихся основным компонентом токсичных выбросов, в природно-территориальные комплексы приводит к негативным последствиям в их функционировании, в том числе, нарушениям состояния растительного покрова и элементного состава поверхностных горизонтов почв (Вильчек и др., 1996; Сает и др, 1990).

Исследования проведены в июне 2018 и феврале 2019 гг. на экологическом трансекте в зоне воздействия медно-никелевого комбината «Североникель», к югу от предприятия на расстоянии до 23.5 км. Всего отобраны образцы почв и снежного покрова с 22 площадок, расположенных на расстоянии 1-2 км друг от друга. Выбор участка исследований напрямую связан с геоморфологическими и климатическими особенностями территории. Особенности ветрового режима территории определяют перенос поллютантов в воздушном пространстве в меридиональном направлении, преимущественно с севера на юг, низкая циркуляция воздушных масс в холодное время года в сочетании с малыми скоростями ветра приводит к застою воздуха и повышенному загрязнению на расстоянии нескольких километров от комбината (Климатологический справочник, 1969). Специфика рельефа определяет особенности перераспределения загрязняющих веществ по наветренным и подветренным склонам, понижениям.

Для оценки загрязнения аэротехногенными поллютантами (ТМ) рассчитывалось валовое содержание пяти элементов различных классов опасности: Pb (I класс), Cr, Cu, Ni (II класс), Sr (III класс). Образцы почв после необходимой пробоподготовки (высушились в специальном шкафу при температуре 40-55 градусов, затем растирались в агатовой ступке и просеивались через сито с размером ячеек 0.25 мм, после чего из полученной пыли изготавливались почвенные таблетки), которые проанализированы на рентгенофлуоресцентном анализаторе (РФА) СПЕКТРОСКАН МАКС – GV. Для определения содержания загрязняющих веществ в снежном покрове исследовалась растворённая фракция. После предварительной фильтрации через мембранные фильтры талая вода была проанализирована на атомно-абсорбционном спектрометре novAA-400, Analytik-Jena AG, Германия, по методу пламенной атомизации и на атомно-абсорбционном спектрометре AA-240Z, Varian Inc., США, по методу электротермической атомизации.

Выявлено многократное превышение валового содержания тяжёлых металлов (Cr, Cu, Ni, Pb, Sr) в растворённой фракции снега и почвах не только над предельно допустимыми концентрациями, но также над условно фоновыми значениями.

По показателю суммарного загрязнения (Z_c), рассчитанному по содержанию поллютантов в снежном покрове, исследуемый участок можно разделить на три зоны: с чрезвычайно опасной экологической ситуацией, зону умеренной опасности и безопасную зону. В южном направлении основной объём загрязняющих веществ в зимнее время распространяется на расстоянии до 10 км от комбината «Североникель». Что касается суммарного загрязнения в почвенном покрове, наибольшие значения Z_c расположены на площадках на расстоянии до 7 км. В почвенном покрове в пределах исследуемого трансекта

отмечено превышение валового содержания Cu и Ni над ПДК, в отдельных случаях допустимая концентрация превышена более чем в 170 раз.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что в настоящий момент деятельность комбината «Североникель», несмотря на природоохранные мероприятия, продолжает оказывать существенное негативное воздействие на лесные экосистемы.

**Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60221 Арктика «Методология оценки состояния и динамики наземных экосистем Арктики в условиях антропогенного воздействия по данным ДЗЗ»*

ЛИТЕРАТУРА:

- Вильчек Г.Е., Мяс Л.Т., Матишов Г.Г. и др. Арктика: грани и катастрофы – М.: Центр Экологической политики, 1996, – 170 с.
- Климатологический справочник СССР. Вып. по Мурманской области, Архангельской области и Коми АССР. – М.: Сев. управление гидрометеорологической службы, 1969, – 498 с.
- Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды – М.: Недра, 1990, – 335 с.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2017 году: [Электронный ресурс] // URL: <https://gov-murman.ru/> (Дата обращения 01.03.2019).

ИНДЕКС ГУМУСА В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

И.Н. КОРКИНА, Е.Л. ВОРОБЕЙЧИК

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Формы гумуса (humus forms) – морфологически различимые типы строения верхней части почвенного профиля (органогенных горизонтов). Их спектр в пределах определенной территории информативен для характеристики состояния почвенной биоты, особенностей протекания деструкционных процессов и трансформации органического вещества почв (Чертов, Надпорожская, 2018). Промышленное загрязнение почв тяжелыми металлами, особенно в результате выбросов предприятий цветной металлургии, оказывает резко выраженное негативное воздействие на сапротрофный комплекс почвенной биоты, что ведет к изменению скорости и характера деструкции органического вещества и, следовательно, форм гумуса (Korkina, Vorobeichik, 2018). Исходя из этого, спектр форм гумуса можно использовать в оценке состояния почв и в системах экологического мониторинга.

Для практического применения удобна единая Европейская морфофункциональная классификация форм гумуса, унифицирующая терминологию и принципы построения многих национальных классификаций (Zanella *et al.*, 2018ab). Ее неоспоримое преимущество – подробное описание диагностических критериев, поэтому она может быть использована в

качестве полевого руководства-определителя форм гумуса. Для перевода качественной информации о морфологических признаках в количественную шкалу предложен индекс гумуса (НІ) – порядковый номер формы в их ряду, упорядоченном по критерию уменьшения биологической активности почв (Ponge *et al.*, 2002). Чем больше значение НІ, тем меньше скорость разложения растительного опада и роль крупных почвенных сапрофагов в деструкции.

Мы сравнили закономерности изменения НІ в трех градиентах загрязнения, сформированных атмосферными выбросами крупных предприятий цветной металлургии на Урале – Среднеуральского (СУМЗ), Карабашского (КМЗ) и Кировградского (КМК) медеплавильных заводов. Состав атмосферных выбросов предприятий сходен (сернистый ангидрид, тяжелые металлы и металлоиды), на наиболее загрязненных участках фоновые уровни металлов превышены на один–два порядка. Районы СУМЗ и КМК расположены в южной тайге в пределах низкогорий Среднего Урала с преобладанием темнохвойных лесов (КМК на 70 км севернее СУМЗ); район КМЗ – в предлесостепных сосново-березовых лесах Южного Урала. В каждом районе были выделены три зоны загрязнения (фоновая, буферная, импактная), которые характеризуют последовательные стадии деградации экосистем. Пробные площади располагали в средних и нижних частях склонов, где почвообразование протекает в окислительных условиях. В районах СУМЗ и КМК на пробных площадях преобладают дерново-подзолистые почвы, КМЗ – буроземы, дерново-подзолистые, серые и темно-серые почвы. По мере приближения к СУМЗ и КМЗ кислотность почв увеличивается, а содержание обменных оснований снижается. Вблизи КМК, напротив, почвы подщелачиваются из-за поступления кальцийсодержащей пыли от других источников (Верхнетагильская ГРЭС, Невьянский цементный завод).

Для каждого района в каждой из трех зон нагрузки было описано от 5 до 12 пробных площадей размером 25x25м (по 5 прикопок на площадь). Формам гумуса были присвоены следующие индексы: Eumull=1, Mesomull=2, Oligomull=3, Dysmull=4, Hemimoder=5, Eumoder=6, Dysmoder=7, Hemimor=8, Humimor=9, Eumog=10. На основе трех описаний присвоен индекс гумуса каждой прикопке, по пяти значениям для прикопок оценена медиана индекса для каждой пробной площади, по индексам для пробных площадей – медиана для удаления от завода и зоны нагрузки.

Закономерности трансформации морфологии верхней части профиля одинаковы для всех трех районов: по мере приближения к источнику выбросов заметно изменяется структура органогенных горизонтов, появляются органические горизонты без признаков зоогенной трансформации опада, их мощность увеличивается, нарушается структура

гумусового горизонта (комковатая заменяется глыбисто-комковатой, пылеватой или массивной). Четко диагностируется переход от зоогенных форм гумуса мюль-типа к неззоогенным формам мор-типа; изменения выражены столь сильно, что спектры форм импактной и фоновой зон абсолютно не пересекаются. Во всех случаях зоны статистически значимо различались по НІ (критерий Краскела-Уоллиса; район СУМЗ – $H(3, 23)=17.7$, $p<0.0005$; КМК – $H(2, 18)=9.2$, $p=0.01$; КМЗ – $H(2, 26)=20.4$, $p<0.0001$).

Выявлены различия между районами, связанные с их географическим положением: при продвижении с севера на юг (в ряду КМК – СУМЗ – КМЗ) общий спектр форм расширяется за счет сдвига к более активным типам на фоновых территориях. В масштабе всего градиента загрязнения наиболее широк спектр форм гумуса в районах КМЗ и СУМЗ: от зоогенной мюль-формы Mesomull до наименее активной мор-формы Eumog (НІ меняется от 2 до 10). В фоновых березовых лесах района КМЗ чаще встречаются более активные формы Mesomull (18% от всех прикопок в фоновой зоне) и Oligomull (38%), тогда как в фоновых пихто-ельниках района СУМЗ Mesomull и Oligomull редки (6 и 14%), а преобладает несколько менее активная форма Dysmull (77%). В районе КМК спектр форм гумуса более узкий (НІ меняется от 4 до 10): на фоновых участках отсутствуют Mesomull и Oligomull, доминирует Dysmull (80%), но встречаются и модер-формы, что свидетельствует о замедлении разложения опада при сохранении ведущей роли почвенных беспозвоночных (эпигейные дождевые черви, энхитреиды, микроартроподы).

Характер изменения индекса гумуса при переходе от фоновых территорий к импактным неодинаков в разных районах. В буферных зонах СУМЗ и КМК спектр форм гумуса очень широк – от типичных для фоновой зоны до типичных для импактной, соответственно размах НІ максимален (от 2 до 10 в районе СУМЗ, от 4 до 9 – КМК). В районе КМЗ буферная зона близка к фоновой, а размах НІ в ней небольшой (от 2 до 5). В импактных зонах всех трех районов явно доминирует крайняя в ряду активности форма Eumog (92–100% от всех прикопок импактной зоны), которая формируется при отсутствии крупных беспозвоночных-сапрофагов, когда разложение растительных остатков осуществляют только микроорганизмы, преимущественно почвенные грибы. Варьирование индекса в импактных зонах минимально или вообще отсутствует.

Смена форм гумуса в градиенте загрязнения совпадает с изменениями в обилии и структуре сообществ крупных почвенных беспозвоночных (снижение численности сапрофагов, в первую очередь дождевых червей и энхитреид, вплоть до их полного исчезновения в импактной зоне (Воробейчик и др., 2019)). Значения индекса положительно

связаны с мощностью лесной подстилки и содержанием в ней тяжелых металлов, отрицательно – с рН почвы (кроме района КМК, где связь HI с рН отсутствует).

По сравнению с другими методами оценки активности почвенной биоты индекс гумуса более информативен и менее трудоемок (Korkina, Vorobeichik, 2018). Результаты по трем районам подтвердили наше заключение о перспективности использования индекса в оценке состояния почв лесных экосистем на загрязненных территориях (Коркина, Воробейчик, 2016). Однако следует учитывать, что доминирование на фоновых участках модери мор-форм гумуса, например в северной тайге, будет существенно снижать разрешающую способность метода.

ЛИТЕРАТУРА:

- 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.
- Коркина И.Н., Воробейчик Е.Л. Индекс форм гумуса – перспективный инструмент для экологического мониторинга // Экология. 2016. № 6. Р. 434–440.
- Чертов О.Г., Надпорожская М.А. Формы гумуса лесных почв: концепции и классификации // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1202–1214.
- 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.
- Ponge J.F., Chevalier R., Loussot P. Humus index: An integrated tool for the assessment of forest floor and topsoil properties // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. V. 66. P. 1996–2001.
- Zanella A., Ponge J.-F., Jabiol B. et al. Terrestrial humus systems and forms – Specific terms and diagnostic horizons // Appl. Soil Ecol. 2018a. V. 122. P. 56–74.
- Zanella A., Ponge J.-F., Jabiol B. et al. Terrestrial humus systems and forms – Keys of classification of humus systems and forms // Appl. Soil Ecol. 2018b. V. 122. P. 75–86.

ВЛИЯНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВОСТОЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО РАДИОЦЕЗИЯ В ЭКОТОПАХ ЕЛЬНИКА

Д.Н. ЛИПАТОВ, А.И. ЩЕГЛОВ, Д.В. МАНАХОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва

Мониторинг лесных почв в загрязненных районах необходим для контроля лесохозяйственной продукции и уменьшения техногенного воздействия на население и биоту. В лесных экосистемах на территориях, подвергшихся чернобыльским выпадениям, сформировалась сложная пространственная структура радиоактивного загрязнения почв, которая может трансформироваться в ходе своей многолетней динамики (Щеглов, 1999; Переволоцкий, 2006; Краснов и др., 2007). Осаждение радиоактивных аэрозолей на древостои различного состава и возраста не является гомогенным. Для хвойных вечнозеленых деревьев характерно увеличение поглотительной способности радиоактивных выпадений по

сравнению с лиственными породами (Yoshihara et al., 2013). Интенсивность осаждения радиоактивных аэрозолей и скорость очищения крон деревьев зависят от типа выпадений, химической формы радионуклидов, метеорологических и сезонных условий, состава и таксационных характеристик древостоев. В течение 1-2 лет после радиоактивных выпадений основная часть, поступивших в лесной биогеоценоз, техногенных радионуклидов перемещается в почву и формирует вторичную структуру загрязнения. Одной из задач лесной радиоэкологии является изучение влияния состава, морфологии и таксационных показателей древесного яруса на пространственное распределение радионуклидов в почве.

В лесном почвоведении широкое применение получила концепция парцеллярного строения биогеоценозов и структурно-функциональной организации их почвенного покрова (Карпачевский и др., 1980). Лесной биогеоценоз состоит из мозаики парцелл, каждая из которых характеризуется своим эдификатором в древесном ярусе и доминантами растительного покрова в нижних ярусах. При изучении миграции и распределения техногенных элементов в отдельных лесных биогеоценозах необходимо учитывать такую горизонтальную структурно-функциональную организацию почвенного покрова.

Исследования проводились в Рославльском районе Смоленской области. Загрязнение Cs-137 на данной территории обусловлено радиоактивными выпадениями после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Исследованный биогеоценоз представлен разновозрастным ельником, сформированным елью европейской с примесью березы повислой. На контрольном участке площадью 30×30 м проведено фитоценотическое обследование, в ходе которого для всех деревьев определяли таксационные показатели: диаметр и высоту ствола, протяженность кроны, степень охвоенности, класс бонитета, густоту древостоя. Высота деревьев варьировала от 12 до 30 метров, протяженность проекции кроны – от 1 до 8 метров, степень охвоенности – от 10 до 95%. На участке выявлена дерново-подзолистая легкосуглинистая почва с горизонтами: O(0-3) – A1(3-16) – AE(16-29) – EB(29-41) – B1(41-82) – B2(82-118) – C(118-170 см). Площадное опробование почвы проведено по равномерной сетке с шагом 5 метров в 36 точках. Почвенные пробы отбирались из горизонта лесной подстилки O в рамке 25×25 см и под ней из верхней минеральной толщи с помощью цилиндрического бура по глубинам 0-5 см, 5-10 см, 10-19 см. Измерение удельной активности Cs-137 в почвенных пробах выполнено на сцинтилляционном гамма-спектрометре с NaI-детектором, амплитудный спектр импульсов обрабатывался с помощью программы «Прогресс».

На исследованной контрольной площадке плотность загрязнения Cs-137 в почве варьировала от 8.5 до 37.2 кБк/м², среднее значение составило 24.1 кБк/м² (0.65 Ки/км²).

Проверка с помощью критерия Уилка-Шапиро ($p=0.05$) показала, что пространственное распределение плотности загрязнения Cs-137 в почве исследованного ельника подчиняется нормальному закону. При этом коэффициент вариации составил 27.4%, что выше, чем для глобальных выпадений и соответствует оценкам, отмеченным для дальней зоны чернобыльского выброса (Щеглов, 1999; Переволоцкий, 2006). Распределение удельной активности и плотности загрязнения Cs-137 по профилю исследованной дерново-подзолистой почвы показывает, что основная доля радионуклида сосредоточена в верхней части гумусового горизонта и в нижнем подгоризонте лесной подстилки. В слоях 5-10 и 10-19 см значения удельной активности значительно уменьшены, а распределение Cs-137 не удовлетворяло нормальному закону, но показало хорошую аппроксимацию логнормальным законом. Этот факт указывает на локальное увеличение интенсивности миграции радионуклида в средней и нижней части гумусового горизонта на отдельных микроучастках экотопов ельника. К такому языковатому заглоблению Cs-137 в почвах лесных биогеоценозов могут приводить биотурбационные процессы, связанные с ростом корней растений и жизнедеятельностью животных.

Для исследования влияния таксационных дендрометрических показателей деревьев на загрязнение Cs-137 в почве под ними проводился корреляционный анализ на основе коэффициентов корреляции Спирмена. Выявлено, что плотность загрязнения Cs-137 в почве под елями статистически значимо ($p=0.05$) положительно коррелирует с высотой деревьев и протяженностью крон в направлении юг-север. Аналогичная корреляция отмечена с диаметром и охвоенностью деревьев, но она слабовыраженная. Удельная активность Cs-137 в отдельном слое 0-5 см также значимо ($p=0.05$) положительно коррелирует с высотой, диаметром деревьев и протяженностью крон в направлении юг-север. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о влиянии таксационных показателей древостоя на загрязнение Cs-137. Следует отметить, что Смоленскую область пересекал один из ореолов радиоактивного чернобыльского следа с юга на север (Атлас радиоактивного загрязнения, 1998), который продолжался в Ленинградской области и достиг Скандинавии. Можно полагать, что в исследованном ельнике основным фактором, сформировавшим неравномерное радиоактивное загрязнение, выступала турбулентная диффузия сухих выпадений из атмосферы в 1986 г. При этом более высокие деревья со значительной протяженностью кроны перехватывали большее количество радиоактивных выпадений. Пространственная дифференциация древостоя в исследованном биогеоценозе формирует сложную разноуровневую поверхность верхней кромки леса, что привело к неравномерному оседанию на ней чернобыльских радиоактивных выпадений.

Удельная активность Cs-137 в лесной подстилке статистически значимо ($p=0.05$) положительно коррелирует с густотой древостоя. Наиболее тесные положительные корреляционные связи с дендрометрическими показателями выявлены для удельной активности Cs-137 в главном депонирующем слое 0-5 см. В слое 5-10 см направленность этих корреляционных связей сохраняется, но они статистически незначимы. Для удельной активности Cs-137 в слое 10-19 см корреляционных связей с таксационными показателями деревьев не выявлено. Вниз по почвенному профилю ослабевает влияние состава и морфологии древостоя на пространственное распределение Cs-137.

Таким образом, с увеличением высоты елей и протяженности их крон возрастает плотность загрязнения Cs-137 в почве под ними вследствие большего поглощения чернобыльских выпадений. Влияние таксационных показателей древостоев на пространственное распределение Cs-137 наиболее выражено в подстилке и слое 0-5 см и ослабевает в более глубоких слоях почвы. Пространственное распределение радионуклида Cs-137 может выступать в качестве трассерного для выявления сходных закономерностей поведения других аэротехногенных элементов-загрязнителей в лесных биогеоценозах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины (Под ред. Ю. А. Израэля). М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1998. 143 с.
2. Карпачевский Л.О., Воронин А.Д., Дмитриев Е.А., Строганова М.Н., Шоба С.Л. Почвенно-биогеоценозические исследования в лесных биогеоценозах. М.: Изд-во МГУ, 1980. 160 с.
3. Краснов В.П., Орлов А.А., Бузун В.А., Ландин В.П., Щелест З.М. Прикладная радиоэкология леса. Житомир: Полісся, 2007. 680 с.
4. Переволоцкий А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. 255 с.
5. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. М.: Наука, 1999. 268 с.
6. Yoshihara T., Matsumura H., Hashida S., Nagaoka T. Radiocesium contaminations of 20 wood species and the corresponding gamma-ray dose rates around the canopies at 5 months after the Fukushima nuclear power plant accident // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. V.115. P. 60-68.

МОНИТОРИНГ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВ НА ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

И. А. ЛИХАНОВА, Е.Г. КУЗНЕЦОВА, Е.М. ЛАПТЕВА, С.В. ДЕНЕВА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

На Севере все более расширяющееся техногенное воздействие на природные экосистемы обуславливает увеличение площади нарушенных земель, сопровождающееся усилением развития негативных явлений (эрозии), что в значительной степени актуализирует

проблему восстановления посттехногенных экосистем. В северных условиях скорость самозарастания техногенных экотопов характеризуется замедленными темпами, поэтому ускорить процесс восстановления разрушенных природных экосистем, оптимизировать техногенные ландшафты можно только приемами рекультивации [1, 2].

В таежной зоне на северо-востоке европейской части России (Республика Коми) изучали на нарушенных территориях формирование растительности и почв (основных компонентов лесных экосистем) в процессе самозарастания на участках постоянных наблюдений (стационарный участок «17 км» и карьер «Язель») и после проведения лесной рекультивации (отработанные карьеры строительных материалов «Даса», «Човью», «Юршор», «Важель-Ю»).

Стационарный участок «17-й километр» находится в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкара вблизи от трассы Сыктывкар-Киров. Процесс восстановления растительности и почвы начался с «нулевой точки» на субстрате, представляющем собой вскрытые в ходе строительных работ покровные суглинки. Песчаный карьер «Язель» расположен на бортовой террасе р. Вычегды с мощными древнеаллювиальными песками в 500 м от дороги Сыктывкар-Слудка. Добыча строительного материала в карьере не производится более 50 лет. Карьеры, на территории которых около 20 лет назад проведена биологическая рекультивация (посадки сосны), расположены в окрестностях г. Сыктывкар. Субстрат карьеров «Даса», «Човью», «Юршор» – супесчано-песчаный, «Важель-Ю» – суглинистый.

На стационарном участке «17 км» в первые годы наблюдений на этапе функционирующей многолетней травянистой экосистемы преобразование суглинистого субстрата происходило по типу луговой почвы [3]. Небольшой по мощности биогенно-аккумулятивный слой морфологически разделен на дернину и гумусовый горизонт. Под этим слоем мощностью около 10 см следует неизменный техногенный субстрат. В последующие годы участок колонизируется древесными растениями – березой (*Betula pubescens* Ehrh., *B. pendula* Roth.), сосной (*Pinus sylvestris* L.), а также видами ив. В настоящее время разнотравно-злаковое сообщество сохранилось фрагментами. Формирование лесной экосистемы происходит путем дифференциации отдельных парцелл (групп), приуроченных к разным древесным растениям. В соответствии с качественно-количественным изменением состава многолетнего травянистого сообщества (снижением доли растений-задернителей) преобразуется луговая почва. Происходит разрушение биогенно-аккумулятивного слоя (дернины и гумусового горизонта) и его замещение лесной, небольшой мощности, листовенно-травянистой подстилкой в почве парцелл листовенных древесных растений и листовенно-хвойной – в парцелле сосны. К концу третьего десятилетия практически

заканчивается процесс замещения травянистой экосистемы на лесную, которую диагностирует формирование сомкнутого древесно-кустарникового яруса (сомкнутость крон до 0,8, высота до 12 м), развитие напочвенного покрова с преобладанием лесных и опушечных видов, а также образование почвы с горизонтом лесной подстилки.

На песчаном субстрате карьера «Язель» с первых лет самовосстановительного процесса начинается внедрение сосны. В первые два десятилетия напочвенный покров формируется в основном за счет разреженных экземпляров ксерофильных сосудистых растений и пионерных мхов, а в последующем – лишайников. К пятому десятиетию формируется сосняк лишайниковый (высота до 4 м, сомкнутость крон 0,1-0,2), под которым сформирована слаборазвитая почва с рыхлой подстилкой мощностью до 2 см. Подстилка состоит из опада хвои сосны и отмерших остатков лишайников. Ниже расположен гумусово-слаборазвитый слой. Глубже идет практически не измененный песчаный бесструктурный, слабоуплотненный субстрат. Изменение субстрата в основном затрагивает верхние несколько сантиметров в связи с началом обособления подстилки и гумусово-слаборазвитого слоя. По сравнению с экосистемой, формирующейся на суглинках («17 км»), самозарастание и формирование почвы здесь происходит менее активно.

После отработки карьеров «Даса», «Човью», «Юршор», «Важель-Ю» на их территории были проведены рекультивационные мероприятия с использованием 2-летних сеянцев сосны. К пятому году восстановительного процесса высота сосны составляла 0,3 – 0,4 м. Активно внедрялись мелколиственные породы деревьев и кустарников (*Betula pubescens*, *B. pendula*, *Salix caprea* L. и др.). В напочвенном покрове преобладали синантропные виды с широкой экологической амплитудой. Во втором десятилетии сукцессии древесный ярус развивается за счет высаженной сосны. Высота деревьев 3 м. Высокая сохранность (80-85 %) обеспечивает густоту древостоя около 3 тыс. шт./га. В напочвенном покрове появляются лесные травянистые виды и мохообразные, уменьшается проективное покрытие растений под кронами, что свидетельствует об усилении эдификаторной роли сосны.

В первые пять лет сукцессии слабое развитие растительного сообщества на супесчано-песчаных карьерах обуславливает отсутствие изменений морфологического строения и химических свойств минерального материала днища карьеров. Только на суглинистом карьере «Важель-Ю» отмечалось прокрашивание в темно-серые тона верхнего маломощного слоя грунта за счет накопления органического вещества. Во втором десятилетии формирующиеся на карьерах почвы можно отнести к отделу слаборазвитых. В автоморфных условиях – это псаммозёмы гумусовые (на песчано-супесчаных субстратах) и пелозёмы гумусовые (на суглинках), в гидроморфных – псаммозёмы. В профиле формирующихся почв

выделяется гумусово-слаборазвитый горизонт. Его мощность на песчано-супесчаных карьерах составляет около 1 см, на суглинках – до 3 см. Глубже минеральный субстрат слабо затронут почвообразовательным процессом. Установлено, что в первые два десятилетия восстановительного процесса на карьерах преобладают процессы накопления органического вещества, при этом не происходит формирования эмбриональных профилей зональных почв.

Таким образом, полученные результаты подтвердили необходимость проведения лесной рекультивации на нарушенных территориях в подзоне средней тайги для ускорения процесса восстановления почвенно-растительного покрова. Уже в начале второго десятилетия управляемой сукцессии на территории карьеров сформирован древесный ярус из культур сосны, биометрические показатели которых свидетельствуют об удовлетворительном состоянии древостоев. Отмечено формирование травяного и мохового ярусов, внедрение лесных видов в напочвенный покров; увеличение видового состава сообществ. Рекультивация, ускоряя сукцессию, способствует более интенсивному проявлению биогенно-аккумулятивных процессов в почвах по сравнению с почвами участков самозарастания.

Установлена функциональная взаимосвязь растительного сообщества и органо-аккумулятивного слоя почвы в процессе формирования природной экосистемы на первых этапах ее развития. Полученные выводы имеют практическое значение, давая возможность для дальнейшей разработки проблемы природовосстановления на нарушенных территориях с учетом условий таежной зоны.

ЛИТЕРАТУРА:

- Капелькина Л.П. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. СПб: Наука ПРОПО, 1993. 192 с.
Лиханова И.А., Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М. Восстановление лесных экосистем на техногенно-нарушенных территориях Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 104 с.
Посттехногенные экосистемы Севера. СПб: Наука, 2002. 159 с.

ПОЧВЫ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИБАЙКАЛЬЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРИМОРСКОГО И БАРГУЗИНСКОГО ХРЕБТОВ)

Д.Н. ЛОПАТИНА, И.А. БЕЛОЗЕРЦЕВА, И.Н. БИЛИЧЕНКО

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
E-mail: daryaneu@mail.ru

В летние полевые сезоны 2017 и 2018 годов проведены комплексные ландшафтно-географические исследования на территории Приморского и Баргузинского хребтов. Работы

проводились вдоль горных рек Сарма, Харга, Курма, Улан-Хан, ручья Ланинского, д. Черноруд, в районе Трехглавого гольца на Приморском хребте, а также в долинах горных рек Большой Чивыркуй, Дубари, Маркушкина и Урбикан на Баргузинском хребте. Проведены морфологические описания почвенных разрезов, отобраны образцы почв и растительности. Согласно проведенным исследованиям, составлены почвенные карты. Ранее ландшафтно-геохимические исследования хребтов Прибайкалья проводились другими исследователями. Изучение Байкальского хребта в пределах Байкало-Ленского заповедника проведено В.А. Кузьминым (Кузьмин, 2002). Показано влияние растительности на свойства почв, а их, в свою очередь, на растительность. Сотрудниками института общей и экспериментальной биологии СО РАН были изучены закономерности пространственного распределения почв предгорных наклонных равнин Баргузинского хребта (Убугунов и др., 2016).

Согласно полученным нами данным, почвенный покров Баргузинского хребта достаточно разнообразен (долины рек Большой Чивыркуй, Дубари, Маркушкина). Присклоновые поверхности хребта заняты подзолистыми и дерново-подзолистыми типичными почвами на песчаниках под березово-осиновым с лиственницей и пихтой разнотравно-злаковым лесом. Местами встречаются пирогенные почвы на территории прошедших пожаров. Склоны хребта с уклоном 30° заняты буроземами типичными на песчаниках под кедрочагами с пихтой и осиною кустарничковыми разнотравно-бодановыми. Привершинные склоны с уклоном 45° заняты литоземами серогумусовыми типичными на гранитах и гранито-гнейсах под кедровым стлаником злаково-бруснично-чернично-бодановым. Выположенные привершинные поверхности заняты дерново-подбурами иллювиально-железистыми на гранитах и гранито-гнейсах под кустарничковой злаково-лишайниковой растительностью. На водораздельных поверхностях преобладают петроземы и петроземы гумусовые на плотных гранитах, гранито-гнейсах и базальтах под кедровым стлаником и горно-тундровой растительностью, литоземы серогумусовые под щебнистой лишайниковой тундрой с кедровым стлаником на гранитах и гранито-гнейсах. В понижениях на водораздельных поверхностях преобладают торфяно-глееземы под кустарничковым разнотравно-злаковым лугом, встречаются торфяно-литоземы на гранито-гнейсах под заболоченной тундровой растительностью и кустарничковой злаково-мохово-лишайниковой тундрой. В истоках рек вблизи горных озер преобладают аллювиальные гумусовые (дерновые) на аллювиальных отложениях под разнотравно-злаковым лугом, встречаются петроземы гумусовые оподзоленные на гранито-гнейсах под тундровой растительностью. Под лугово-болотной растительностью и кустарничковыми зарослями по долинам рек преобладают аллювиальные торфяно-глеевые почвы на аллювиальных

отложениях. На границе леса и тундры распространены подбуры иллювиально-железистые на гранито-гнейсах, под лесотундровой растительностью, в понижениях долин рек – аллювиальные торфяно-глеевые почвы на аллювиальных отложениях под лугово-болотной растительностью. Согласно проведенным нами химическим анализам образцов почв, содержания макрои микроэлементов в почвах Баргузинского хребта не превышают ПДК и ОДК. Согласно проведенному исследованию долины горной реки Левый Урбикан, почвенный покров Баргузинского хребта в изучаемом районе разнообразный, что обусловлено сильно расчлененным высокогорным рельефом. В структуре почвенного покрова наблюдается горная поясность. На водоразделах под сосновым бруснично-багульниковым лесом преобладающим подтипом почв является подзолистая типичная, сопутствующий подтип – дерново-подзолистая типичная, редко встречающийся – серая типичная. На водоразделах под редкой горно-тундровой растительностью – литозем типичный, реже – петрозем типичный и петрозем гумусовый типичный. На склонах северной экспозиции под лиственничным кустарниково-мохово-багульниковым лесом чаще всего встречается дерново-подзол иллювиально-железистый, реже – подзолистая типичная и дерново-подзолистая типичная, а под горно-тундровой растительностью преобладающим подтипом является литозем грубогумусовый типичный, сопутствующим – торфяно-литозем типичный, редко встречающимся – петрозем типичный. На склонах южной экспозиции под березовым кустарниковым разнотравно-боданово-хвощевым лесом преобладающий подтип почв – серая типичная, а под лиственничником кустарничково-мохово-бруснично-багульниковым встречаются дерново-подбур иллювиально-железистый, реже – подбур иллювиально-железистый. Под редкой горно-тундровой растительностью петрозем гумусовый типичный, реже литозем типичный и грубогумусовая иллювиально-ожелезненная почва. На крутых сыпучих склонах в гольцовой зоне почвенный покров фрагментарный, преобладает обломочный материал коренных пород. Аллювиальные почвы речных долин, почвы вблизи озер и болот: в пойме реки Левый Урбикан и ее притоков под сосново-березовым кустарниковым багульничково-моховым лесом преобладает слоисто-аллювиальная типичная почва, сопутствует ей – аллювиальная гумусовая типичная, редко встречается – аллювиальная перегнойно-глеевая типичная. Вблизи горных озер под сосново-березовым кустарниковым разнотравно-хвощевым лесом чаще всего встречается слоисто-аллювиальная гумусовая типичная почва, сопутствующим подтипом является аллювиальная перегнойно-глеевая типичная, редко встречается – торфяно-литозем типичный. На низовых сфагновых болотах под лиственничным редколесьем мохово-багульничково-морошковым преобладающим подтипом почв является торфяно-криозем типичный, сопутствует –

торфяно-литозем типичный, реже встречается – аллювиальная гумусовая типичная почва. На верховых болотах под сосновым редколесьем багульниково-моховым преобладает торфяно-литозем типичный, реже встречаются – торфяно-криозем типичный и аллювиальная перегнойно-глеевая типичная почва. Побережье Байкала представляет собой галечную полосу с редкой растительностью.

В ландшафтной структуре Приморского хребта так же, как и в структуре Баргузинского, четко проявлена высотная поясность. Почвенный покров Приморского хребта достаточно разнообразен. По долинам рек и крупных ручьев (р. Харга, р. Ланинский, р. Сарма, р. Улан-Хан) преобладают аллювиальные темногумусовые под березово-осиновым кустарничковым лесом, аллювиальные гумусовые типичные под сосново-березовым или сосновым кустарничковым лесом, аллювиальные гумусовые с погребенным гумусовым горизонтом почвы под разнотравно-злаковым лугом на аллювиальных породах. На склонах и выположенных поверхностях по долинам рек также встречаются литоземы серогумусовые типичные на гранитах под сосновым лесом, петрозёмы оподзоленные под сосново-кустарничковым лесом на плотных гранито-гнейсах. Южные остепненные склоны долин заняты темногумусовыми метаморфизованными почвами на гнейсах под степной растительностью. Склоны на гранитах под сосново-лиственничным кустарничковым лесом заняты буроземами грубогумусовыми типичными, склоны на каменистых песчаниках под березово-сосновым кустарничковым лесом – подзолистыми и дерново-подзолистыми типичными почвами. Подбуры иллювиально-железистые встречаются по склонам долин на гранито-гнейсах под сосново-березовым лесом. Серые типичные почвы – на высоких склонах долин на гранито-гнейсах под сосново-берёзово-осиновым мелколиственным разнотравно-моховым лесом. По склонам горным склонам и склонам долин рек встречаются пирогенные почвы на местах пожаров.

**Работа проведена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00400.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Кузьмин В.А. Почвы центральной зоны Байкальской природной территории (эколого-геохимический подход). – Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. 166 с.
Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Цыремпилов Э.Г. Почвы и формы рельефа Баргузинской котловины // Изд-во БНЦ СО РАН, Улан-Удэ. – 2016. – 212 с.

ОКСИТЕРМОГРАФИЯ – ЭКСПРЕСС МЕТОД АНАЛИЗА ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО, ДЛЯ ЭКО-МОНИТОРИНГА ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ

А.В. МИХАЙЛОВА¹, А.Е. САРАЕВА¹, Н.П. АХМЕТЬЕВА², А.С. КОРОТКОВ¹,
В.Г. ЛИННИК¹, Б.К. ЗУЕВ¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии и аналитической химии имени В.М. Вернадского Российской академии наук, г. Москва

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва

Метод анализа – окситермография предложен несколько лет назад и стал широко применяться для анализа разного вида воды (Зуев, 2011) как наиболее точный, экспрессный и экологически чистый в отличие от известного метода мокрой химии химического потребления кислорода (ХПК). Анализ твердых объектов (почв, торфа, растительности) для определения органического вещества применяется реже, таких работ мало (Зуев Б.К. и др., 2016). Метод имеет ряд преимуществ: позволяет экономить реактивы, требует минимальное количество анализируемого вещества, сокращает продолжительность выполнения анализа и может работать в полевых условиях.

Окситермография в традиционном варианте – метод анализа органических веществ, основанный на количественном определении молекулярного кислорода, затраченного на высокотемпературное окисление пробы. При выполнении анализа образец (навеску) помещают в кварцевую лодочку, которая с помощью шагового механизма отправляется в печь. Через печь непрерывно прокачивается воздух. При окислении пробы полученная газоздушная смесь попадает в газоанализатор, где регистрируется кислород в объемных процентах. В результате опыта получают кривые сжигания с обратным пиком, названные окситермограммами, которые отображаются на экране компьютера. Площадь пиков вычисляется с помощью интеграла и является аналитическим сигналом. В качестве средства поверки используется ГСО № 2216-81, калий фталевокислый, (99,90-100)%, 1-ого разряда. Управление, сбор и обработка экспериментальных данных осуществляется с помощью компьютера. Разработанное оригинальное программное обеспечение позволяет производить измерения в многоканальном режиме: одновременно просматривать изменение температуры и содержание кислорода в воздухе.

В результате многочисленных экспериментов стало возможным унифицировать метод, применяя предварительную калибровку установки с использованием образца торгового препарата гуминовых кислот (ГК) с известным содержанием органического углерода ($C_{орг.}$).

Таким образом, сжигая образцы с различным известным содержанием $C_{орг.}$ по величине площадей обратных пиков получают градуировочный график и становится возможным определение содержания органического углерода в неизвестных пробах. Таким образом авторами предложен другой способ абсолютной калибровки.

Метод абсолютной калибровки основан на использовании линейной зависимости между площадью обратного пика окситермограммы и концентрацией определяемого компонента. Берут различные навески образца сравнения (ГК) с известным содержанием $C_{орг.}$, снимают окситермограммы и строят график зависимости площади обратного пика от концентрации $C_{орг.}$. Калибровочный график представляет собой прямую, проходящую через начало координат. Затем измеряют площадь пика на окситермограмме испытуемого образца (S , усл.ед.) и по градуировочному графику определяют концентрацию $C_{орг.}$. Пробы неизвестного состава.

Для работы использовали образцы очеса и торфа с верхового болота заказника «Журавлиная Родина», торфа болот Галицкий мох и Изоплит (Ахметьева Н.П. и др., 2016; Ахметьева Н.П. и др., 2018). Почвы: чернозем обыкновенный карбонатный, каштановые карбонатные солонцеватые. Болотную растительность: мох, клюква, болиголов, иглы сосны, листья березы. Использовали торговый препарат ГК производства НПО «Биолар» Олайнский завод химреактивов с характеристиками: однородный, сухой; зольность – 8.7%; гигроскопическая влажность – 6%, содержание органического углерода 42.4% от сухой массы. Отбирали навески ГК от 3 до 12 мг и проводили 5 параллельных измерений. В работе использовали весы аналитические электронные GN-252, Япония; эксикатор с осушителем (прокаленный кальций хлористый, технический).

Для окисления проб использовали два метода – термогравиметрический и окситермографию. Программируемые печи серии ПДП-Lab (ТУ 3443-032-39681863-2015) производства ООО "НПП "Томьаналит" г. Томск, РФ представляют собой компактные, быстродействующие двухкамерные устройства. Процессы сушки и озоления проводятся при контроле температуры и времени. Управление режимами работы камер печи ПДП, ввод и сохранение параметров программ термообработки осуществляют с помощью пульта управления. Установка и контроль температуры, а также высокая точность и равномерность поддержания температур снижают погрешность результатов анализа. Диапазон рабочих температур 70-600 °С.

Количественное определение $C_{орг.}$ проводили на оригинальной модельной установке окситермографе. Калибровку прибора проводили по выбранному профилю, окисляя разные навески ГК. По полученным предварительным данным градуировочный график линеен в

диапазоне 0-6 мг $C_{орг}$. Определено количество органического углерода в торфе на поверхности и по разрезам.

В работе больше внимания уделялось осушенным торфяным болотам, которые долгое время остаются в заброшенном состоянии и зарастают самопроизвольно. К сожалению, полноценные лесные насаждения здесь не формируются, часто развивается сорная растительность, что значительно снижает способность болот к накоплению углерода (Инишева Л.И. и др., 2016).

В настоящее время взгляды на болота существенно изменились. Их больше не рассматривают только как источник дешевой энергии, с недавних пор уделяется большое внимание химическому составу торфа, возможностям применения его в медицине, косметологии, сельском хозяйстве, животноводстве и других областях. Особого внимания с точки зрения зеленой химии заслуживают гуминовые вещества, входящие в состав торфа. Образование гуминовых веществ представляет собой второй по масштабности после фотосинтеза процесс трансформации углерода.

Очевидно, что необходимы поиски и разработки новых методов исследования химического состава торфа в силу того, что существующие методы «мокрого» анализа трудоемки, сопровождаются взрывной пожароопасностью, большим расходом кислот и других реактивов и поэтому нуждаются в комплексной переработке.

ЛИТЕРАТУРА:

- Ахметьева Н.П., Беляев А.Ю., Гринченко О.С., Кричевец Г.Н., Кудряшова В.В., Лапина Е.Е., Михайлова А.В. Заказник «Журавлиная Родина»: современное состояние и охрана от торфяных пожаров на осушенном болоте «Дубненский массив» // Труды ИНСТОРФА. 2016. № 14 (67). С. 12-21.
- Ахметьева Н.П., Михайлова А.В., Федорова Л.П. Восстановление растительности и почвенного покрова на начальной стадии зарастания гарей на выработанных торфяниках // Лесоведение. 2018. № 2. С. 119-129.
- Зуев Б.К. Способ окситермографии. Патент РФ на изобретение № 2411509. Бюл. № 4. 2011. 4 с.
- Зуев Б.К., Полотнянко Н.А., Моржухина С.В. Возможности метода окситермографии для анализа воды и почвы // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Системы контроля окружающей среды 2016». Севастополь. 2016. С. 38.
- Инишева Л.И., Кобак К.И., Порохина Е.В. Роль болот в углеродном цикле (на примере Северо-Западного и Сибирского округов России) // Труды ИНСТОРФА. 2016. № 14 (67). С. 3-11.

ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

Т.А. МОСКАЛЮК

ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток

Лесное сообщество – это экосистема, становление и функционирование которой в большей степени зависят от условий первичного экотопа (местоположение над уровнем моря, крутизна и экспозиция склона), а при достижении гомеостаза – законами самоорганизации, определяемыми эдификатором сообщества. Ему присущи определенные видовой состав и пространственно-временная (ценотическая) структура, отражающая все протекающие в нем процессы, в совокупности объединяемые понятием «лесообразовательный процесс».

Ценотическая структура является интегральной характеристикой функционирования экосистемы на любой стадии онтогенеза. Ответная реакция экосистемы на комплекс факторов, влияющих на лесообразовательный процесс, отражается динамикой ценотической структуры экосистемы, позволяя выявить особенности ее структурно-функциональной организации, обусловленные экотопическими условиями и взаимными отношениями внутри и между структурными элементами фитоценоза (ценоэлементами).

Актуальность подобных исследований на Дальнем Востоке обусловлена угрозой полного исчезновения коренных хвойно-широколиственных лесов, определяющих уникальность и своеобразие природы региона. Реликтовое происхождение и формирование в условиях резко выраженного горного рельефа и муссонного климата, обуславливают повышенную уязвимость этой формации. К настоящему времени площадь особо ценной по экономической и экологической значимости кедрово-широколиственной формации в регионе с 1929 (~ 4,1 млн. га) по 2001 гг. сократилась в 1,9 раза (Корякин, 2007).

Изучение ценотической структуры лесов в Приморском крае начато в конце минувшего столетия с создания экологического профиля "Горнотаёжный" в лесных угодьях Горнотаежной станции ДВО РАН для установления закономерностей естественного восстановления вторичных лесов. Его образует система постоянных пробных площадей (ППП) на склонах северной и южной экспозиций водосборного бассейна одного из безымянных ручьев в окрестностях пос. Горнотаежное (Уссурийский район).

В качестве примера экосистемного подхода к изучению лесообразовательного процесса рассматривается ценотическая структура одного из объектов экологического профиля – разновозрастного *широколиственно-липового с лиановой растительностью лещинового разнотравного* типа леса. ППП в нем была заложена в 1998 г., ревизия ее проведена в 2018 г. Этот тип леса занимает среднюю часть склона северо-северо-восточной экспозиции с отметками от 200 до 400 м от водораздела (координаты ППП 43°42'234" с.ш. и 132°09'590" в.д.). Поверхность склона ровная с террасовидными элементами микрорельефа; уклон составляет в среднем 15°, варьируя от 10 до 40°. Почва типичная для влажных северных склонов – бурая лесная, среднегумусная маломощная, среднесуглинистая.

В Южном Приморье средние части северных склонов обладают оптимальными лесорастительными условиями. Именно к ним приурочены полидоминантные леса с теплолюбивой лиановой растительностью. Экосистема исследованного типа леса, обладает чрезвычайно сложным в пределах экологического профиля (и региона) флористическим составом (21 вид деревьев, 9 – кустарников, 3 – лиан, около 80 – трав), отличающимся от коренных хвойно-широколиственных лесов только отсутствием хвойных видов.

Главным ценоэлементом экосистемы выбрана парцелла в трактовке Н.В. Дылиса (1974), так как при ее выделении учитываются характеристики всех ярусов и они легкодоступны для измерения. Исключительно высокое видовое разнообразие ещё не полностью сформировавшегося насаждения обуславливает очень сложную парцеллярную структуру. В коренных хвойно-широколиственных лесах с выработанной структурой в общей сложности насчитывается не более 4-5 парцелл (Максимова, 1987), в исследованном типе леса в 1998 г. было выделено 11 парцелл (Москалюк, 2002).

Условия формирования парцелл определяются с одной стороны экотопическими условиями, а с другой – состоянием главного эдификатора экосистемы – древостоя. На отдельных участках соэдификатором древостоя выступает подлесок и лиановая растительность. Индикатором меняющихся условий служит травяной ярус – самый зависимый и динамичный компонент фитоценоза.

В 1998 г. основными – преобладающими по площади, были пять: *дубово-липовая (Д-Лп) лесно-маковая (лм), Д-Лп с кленом (Кл) лециновая редкопокровная (рп), Д-Лп с Кл разнотравная (рт) с осокой (ос), Д-Лп с Кл рт с ос и василистником (вас) и Лп-Д с ясенем актинидиевая рп*. В совокупности они занимали 82% площади фитоценоза и располагались на участках основной поверхности с незначительными различиями в уклоне, со слегка вогнутой или выпуклой поверхностью. Вторая и пятая парцеллы выделялись наличием соэдификаторов древостоя: *Corylus mandshurica* и *Actinidia arguta*, определяющими редкопокровность травяного яруса. 5 из 11 парцелл были очень близки к коренным. Это основные парцеллы с осоками и лесным разнотравьем, актинидиевая и дополнительные: *Лп с ясенем и Кл лециновая рп с хвощом (Equisetum hiemale) и лм (Hylomecon vernalis), березово-Лп с трескуном бересклетовая рт с ос и вас, Лп с Кл рт-ос*. Резкое осветление местообитаний из-за вывала перестойных деревьев осины и липы спровоцировало разрастание *Stellaria bungeana* и *Aruncus dioicus*. В местах со свежими нарушениями, сформировались парцеллы *Кл-Лп рт-звездчатковая* (участок, пройденный пожаром) и *макиево-диморфантовая (М-Дмр) волжанковая* (прогалина с ветровальной липой).

К 2018 г. парцеллярная структура экосистемы существенно изменилась, указывая на успешное восстановление коренного типа леса. Количество парцелл сократилось до 7. К 2018 г. в древостое экосистемы произошла серьезная перестройка, обусловленная естественным ходом лесообразовательного процесса. Число деревьев первой из трех главных пород – липы, снизилось на 40%; у дуба и клена оно сократилось всего на 1-2,5%. Полностью исчезла осина, 62,5% деревьев выпало у ясеня, 63% – у *Maackia amurensis*. У немногочисленных, но характерных для хвойно-широколиственных лесов пород (*Juglans mandshurica*, *Carpinus cordata*, *Kalopanax septemlobum* и др.), число деревьев тоже уменьшилось, но не более чем на 1%, появилось их возобновление. Средний диаметр стволов у растущих деревьев увеличился на 1-2 ступени толщины. Соответственно характеру изменения древостоя произошла трансформация ценотической структуры. Одни парцеллы более четко обособились на своих участках (парцелла «актинидиевая», во впадинах – парцелла с доминированием осок и разнотравья), другие «растворились» в смежных парцеллах со *Stellaria bungeana*, *Thalictrum filamentosum* и разнотравьем, третьи полностью или частично остались в прежних границах, но в них произошла смена создателей древостоя (парцелла *М-Дмр волжанковая*).

К наиболее значимым трансформациям в парцеллярной структуре следует считать образование новой большой, типичной для хвойно-широколиственных лесов, парцеллы *Л с Кл хвощовой* и смену парцелл *М-Дмр волжанковой* на *М-Дмр лещиновую*. «Хвощовая» парцелла сформировалась по вогнутой линии перегиба после вывала нескольких деревьев ясеня и липы. Она поглотила небольшую *Лп с Яс и Кл лещиновую рп с хв и лм* парцеллу и потеснила смежные *Д-Лп лм* и *Д-Лп с Кл рп с ос*. В «волжанковой» парцелле после смыкания крон деревьев вокруг прогалины, группировки волжанки и другие травы были вытеснены лещиной.

Таким образом, динамика ценотической структуры является объективным отражением функционирования всех компонентов лесной экосистемы, и ее изучение при современном антропогенном воздействии на лес становится все более востребованным, так как позволяет выявить закономерности и направление лесообразовательного процесса.

ЛИТЕРАТУРА:

Дылис Н.В. Структурно-функциональная организация биогеоценотических систем и ее изучение // Программа и методика биогеоэкологических исследований. М.: Наука, 1974. С.14-23. Корякин В.Н., Чельшев В.А. Современная характеристика лесов // Современное состояние лесов Российского Дальнего Востока и перспективы их использования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 15-34 с. Максимова В.Ф. Элементы мозаики травяного яруса в кедрово-широколиственных лесах Среднего Сихотэ-Алиня // Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока (биогеоценотический аспект). Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 79-85. Москалюк Т.А. Парцеллярная структура и возобновление в широколиственно-липовом с лиановой растительностью лещиновом разнотравном типе леса на юге Приморья // Биологические исследования на Горнотаежной станции: Юб. сб. науч. тр. Владивосток: ДВО РАН, 2002б. Вып. 8. С. 203-237.

ФТОРИДЫ В ПОЧВАХ ЛЕСОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ: НАКОПЛЕНИЕ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ

А.М. НЕМЕРОВ¹, О.В. ТРЕФИЛОВА²

¹ Красноярский Государственный аграрный университет, Красноярск

² Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирское отделение Российской Академии наук- обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск

Необходимость мониторинга уровня фторидного загрязнения почв, прежде всего, связана с высокой токсичностью элемента, опасностью его избыточного поступления в организмы животных и человека. Опубликован ряд исследований показавших, что избыточное поступление фторидов может стать причиной трансформации свойств непосредственно почвы (Гапонюк и др., 1982; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Кремленкова, Гапонюк, 1984; Евдокимова и др., 2005; Танделов, 2012). Под влиянием фтора происходит нарушение биохимических и микробиологических процессов (Гапонюк и др., 1982).

Настоящие исследования проводятся в пригородной зоне г. Красноярск. Здесь антропогенными источниками фторидов являются предприятия по производству алюминия, цемента, кирпича, электростанции, работающие на угле, и другие. Хотя уровень накопления и последствия фторидного загрязнения активно изучаются (Козловский, Бучельников, 2008; Скрипальщикова и др., 2009; Танделов, 2012), но результаты ограничиваются набором форм элемента (валовая и воднорастворимая) и получены преимущественно для сельскохозяйственных угодий и заповедных территорий. Широкий спектр экологических функций, которые выполняют пригородные лесные экосистемы (средообразующие, санитарно-гигиенические, рекреационные и др.), обуславливают необходимость изучения не только процессов аккумуляции фторидов в таких почвах, но и определения степени подвижности фторидов. Знания о формах, в которой фториды содержатся в почвах, послужат основой оценки рисков повторного загрязнения сопредельных сред.

Целью настоящих исследований стало определение содержания различных форм фторидов в почвах лесных насаждений пригородной зоны г. Красноярска.

Исследования выполняются на постоянных мониторинговых пробных площадях (пр. пл.) Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, заложенных с учетом преобладающего направления переноса воздушных масс в приспевающих березовых насаждениях разнотравной группы типов леса. В качестве примера взяты два березовых массива на террасе р. Енисей: вблизи д. Ермолаево (пр.пл. 1) и выше по течению реки в районе Академгородка (пр.пл. 2) контроль.

Это участки схожие по генезису, гранулометрическому составу почв и составу растительного покрова. В почвенном покрове серые средне-тяжелосуглинистых песчано-пылеватые почвы на рыхлых четвертичных глинистых отложениях делювиального и элюво-делювиального происхождения, характеризующихся остаточной карбонатностью.

Образцы подстилки и почвы отбирались в 3-кратной повторности. Минеральную часть почвы отбирали послойно (0-5, 5-10 и 10-20). Величины концентрации валового фтора в подстилках определяли по РД 52.24.360-2008, а в почве по ВМР по контролю загрязнения почв. Для оценки содержания минеральных форм фторидов использован фракционный метод. Образцы почвы или подстилки последовательно обрабатывались следующими экстрагентами: дистиллированная вода, 1М раствор хлористого аммония; 0.1 М раствор NaOH и 0.25 М раствор серной кислоты (Конарбаева, 1998).

Первые две фракции служили для извлечения рыхлосвязанных фторидов (KF , NH_4F , $Mg(OH)_2$, $Mg_2(OH)_2CO_3$). Третья фракция (0.1 М раствор NaOH) извлекает фтор, сорбированный гидроксидами алюминия и железа, четвертая (0.25 М раствор серной кислоты) прочносвязанные фториды типа CaF_2 , MgF_2 , K_3AlF_6 , Na_3AlF_6 .

Концентрацию фтора фракций определяли с помощью фтор-селективного электрода, используя буферный раствор общей ионной силы, в стандартный состав которого дополнительно вводили трилон Б и нитрат лантана.

Максимум накопления валового фтора приходится на органогенный горизонт. При переходе к минеральной части почвенного профиля, концентрация валового фтора снижается в 2 раза и слабо меняется в пределах изучаемого слоя почвы (0-20 см). В целом, полученные значения концентрации фтора в минеральной части почв укладываются в пределы величин, характерных для естественных почв – 150-400 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Конарбаева, 1998; Танделов, 2012).

Относительное содержание воднорастворимого фтора минеральной части почв контроля не превышало 1-2% и 4-11% в зоне непосредственного влияния промышленных выбросов. Это согласуется с опубликованными данными (Кремленкова, Гапонюк, 1984; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Конарбаева, 1998).

Фтор почвы пр.пл. 1 (д. Есаулово) на 51-73% представлен минеральными формами. Примерно 40-50% данного количества в верхней 0-20 см толще – рыхлосвязанные или подвижные соединения. От 40 – 49 в верхних 0-10 см до 19% минерального фтора в слое 10-20 см, сорбируется гидроксидами алюминия и железа. В отличие от загрязненного участка, относительная доля минерального фтора в почве контрольного (пр.пл. 2) не превышает 17-

28%. Преобладающая часть содержится в рыхлосвязанном состоянии (45-72%). С глубиной доля прочно связанных соединений фтора возрастает.

Таким образом, несмотря на то, что по валовому содержанию фтора верхний слой почв пригородной зоны г. Красноярска не отличается от ненарушенных аналогов, содержание минерального фтора в таких почвах выше в 4-7 раз. Преобладающая часть минерального фтора верхней 0-10 см толщи как контрольной, так и загрязненной почвы закрепляется в составе рыхлосвязанных соединений, что указывает на высокий уровень потенциальной подвижности фтора. Однако, относительное количество рыхлосвязанных соединений с глубиной убывает. Роль прочной сорбции возрастает, что, вероятно, указывает на наличие геохимического барьера.

За предоставленные объекты исследования, организацию и проведение полевых работ авторы выражают благодарность сотрудникам Института леса им. В.Н. Сукачева: с.н.с., к.б.н. Скрипальщиковой Л.Н., и с.н.с., к.б.н. Пономаревой Т.В., н.с. к.б.н. Барченкову А. П.

ЛИТЕРАТУРА:

- Гапонюк Э.И., Кремленкова Н.П., Моршина Т.Н. Изменение свойств дерново-подзолистой почвы и серозема под влиянием фтора // Почвоведение. 1982. №4. С. 148-154.
- Евдокимова Г.А., Зенкова И.В., Мозгова Н.П., Переверзев В.Н. Почва и почвенная биота в условиях загрязнения фтором. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2005. 135 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Коловский Р.А., Бучельников М.А. Мониторинг загрязнения заповедника «Столбы» фтором // Сибирский экологический журнал. 2008. №3. С. 507-513.
- Конарбаева Г.А. Минеральные формы фторидов в солончаках и прочность их связи с почвой // Сибирский экологический журнал. 1998. №6. С. 613-617.
- Кремленкова Н.П., Гапонюк Э.И. Изменение состава гумуса и ферментативной активности почв под влиянием фторида натрия // Почвоведение. 1984. №11. С. 73-76.
- Скрипальщикова Л.Н., Татаринцев А.И. Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Стасова В.В., Грешилова Н.В. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 179 с.
- Танделов Ю.П. Фтор в системе почва-растение. Красноярск, 2012. 146 с.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДБУРАХ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

И.В. ПРИПУТИНА, Г.Г. ФРОЛОВА, В.Н. ШАНИН

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
Российской академии наук, Московская обл., г. Пушкино
E-mail: irina.priputina@gmail.com

Пространственная неоднородность почвенно-растительного покрова — отличительная черта лесных экосистем (Карпачевский, 1977, 1981; Лукина и др., 2010; Смирнова и др., 2011). Разнообразие эдафических условий на внутрибиогеоценотическом уровне является

одним из факторов, обеспечивающих видовое разнообразие лесов. В свою очередь, видовая и пространственная структура растительного покрова (прежде всего, древостоя) через количество и качество опада, особенности его поступления в почву и за счет формирования разных условий освещенности и гидротермического режима почв под пологом леса определяют локальные различия в почвенных запасах органического вещества (ОВ), азота и других элементов питания. Так, в работах (Лукина и др., 2010; Орлова и др., 2011, 2012) показано повышенное содержание ряда элементов под кронами деревьев по сравнению с межкроновыми пространствами.

Насколько подобные пространственные различия могут быть существенны при оценках запасов почвенных пулов ОВ и азота в лесах разного видового состава, которые, как правило, выполняются по данным изучения отдельных почвенных разрезов, заложенных преимущественно в межкроновых пространствах? В данной работе анализируется пространственный аспект влияния доминант растительного покрова (древесного яруса и видов напочвенного покрова) на аккумуляцию ОВ (а именно, $C_{орг}$) и азота ($N_{общ}$) в почвах Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника (ПТЗ). Оценки пространственного распределения основаны на сопряженном анализе содержания $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в горизонтах О и АУ, поскольку в них сосредоточены основные запасы этих элементов.

Полевые исследования проводились на одной из постоянной пробной площадей заповедника (далее ППП), заложенной в хвойно-лиственном типе леса с доминированием березы (*Betula spp*) при заметном участии сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.). В древесном ярусе также встречаются липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и единично осина обыкновенная (*Populus tremula* L.). В подросте преобладают ель, дуб и липа. Описание ППП и характеристика пространственной и возрастной структуры древостоя дана в работе (Шанин и др., 2018).

Почвы ППП относятся к типу дерново-подбуров (О-АУ-Bf-BC-C) (Классификация, 2004). Отбор образцов выполнялся в первой половине августа 2018 г. Мощность подстилочного горизонта (О) на момент опробования варьировала от 2-3 до 7-10 см, серогумусового (АУ) — от 7-8 до 12-13 см. Пробы из горизонтов О и АУ отбирались по трансектам, заложенным между двумя соседними деревьями в виде серии из 5 точек опробования: по 2 вблизи комля деревьев, 2 на уровне середины проекций крон и 1 в межкроновом пространстве, что позволяет косвенно учесть пространственные аспекты влияния древесного яруса на распределение элементов в лесных почвах (Лукина и др., 2010). Заложено 7 трансект, характеризующих разные сочетания растительности древесного яруса и напочвенного покрова.

Определение содержания $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в отобранных образцах проводилось в ЦКП «Хроматография» аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) методом газовой хроматографии на основании методики исследований МИ № 88-17641-004-2016 (ФР.1.31.2016.23502). Статистическая обработка полученных данных проводилась в среде статистического программирования R (R Core Team, 2015).

Содержание $C_{орг}$ в подстилочном горизонте варьировало в диапазоне 176-449 г кг⁻¹, составив в среднем 300-390 г кг⁻¹ (коэффициент вариации CV=20%). Не выявлено значимых различий в содержании $C_{орг}$ для участков опробования под разными видами деревьев или в зависимости от положения в пространстве древесного полога (возле комля (КО), под кроной (ПК) или в межкроновом пространстве (МК)). При этом, средние показатели мощности подстилочного горизонта снижались в ряду: КО > ПК > МК. *В минеральном горизонте АУ* содержание $C_{орг}$ было заметно ниже: 7.1-85 г кг⁻¹, в среднем – 24-27 г кг⁻¹ (CV=68%). Пониженное содержание характерно для межкроновых пространств, повышенное – в точках отбора под кроной ели, но эти различия имеют характер общего тренда. Одновременно, полученные данные свидетельствуют об отсутствии зависимости между величинами содержания $C_{орг}$ в горизонтах О и АУ для одних и тех же точек опробования.

Содержание $N_{общ}$ в горизонте О изменяется в диапазоне 8.4-17.9 г кг⁻¹, при средних значениях – 13.1-16.8 г кг⁻¹ (CV=17%). *В горизонте АУ* показатели содержания $N_{общ}$ заметно ниже – 0.4-2.3 г кг⁻¹ (CV=56%), при среднем содержании 1-1.5 г кг⁻¹ в приствольной части и под кронами деревьев и около 0.7 г кг⁻¹ в почвах межкроновых пространств, что подтверждает закономерности, выявленные в работах (Орлова и др., 2012, 2014). Аналогично $C_{орг}$, не выявлено зависимости содержания $N_{общ}$ в горизонте АУ от его содержания в лесной подстилке (горизонт О).

Сопряженный анализ данных о содержании $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в почвенных горизонтах дерново-подбуров ПТЗ показывает наличие близкой к линейной зависимости между этими двумя показателями как в подстилочном, так и в серогумусовом горизонте. *Соотношение C:N в лесной подстилке* изменялось в относительно небольшом диапазоне от 19.2 до 29.0, среднее значение составило 23.6 (CV=11%). Варьирование показателя C:N в минеральном горизонте было выше – от 16.1 до 50.0 (CV=24%), но среднее значение 23.8 соответствует аналогичному показателю в горизонте О. В целом для межкроновых пространств исследуемой ППП характерно пониженное (по сравнению с участками под кронами деревьев) содержание $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в подстилочном горизонте и минимальные показатели C:N, что может объясняться более активной минерализацией растительного опада, в том числе, за счет

поступления больших количеств опада растений напочвенного покрова с повышенным содержанием азота. Определенные закономерности, отражающие связь трофических условий почв и разной требовательностью видов к обеспеченности почв азотом, прослеживаются для серогумусового горизонта АУ, для которого характерно снижение содержания $N_{\text{общ}}$ от участков с доминированием неморальных видов (*P. aquilinum*, *C. majalis*) к участкам, занятым бореальными кустарничками (*V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*).

Полученные данные подтверждают пространственную неоднородность распределения показателей плодородия лесных почв на внутрибиогеоценотическом уровне, что может быть причиной неопределенности существующих количественных оценок почвенных запасов ОБ и азота в лесных экосистемах и требует разработки пространственных методов учета variability почвенных показателей.

** Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ (проект № 18-14-00362).*

ЛИТЕРАТУРА:

- Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. 312 с.
Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
Лукина Н. В., Орлова М. А., Исаева Л. Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45-56.
Орлова М. А., Лукина Н. В., Камаев И. О., Смирнов В. Э., Кравченко Т. В. Мозаичность лесных биогеоценозов и плодородие почв // Лесоведение. 2011. № 6. С. 39-48.
Орлова М. А., Лукина Н. В., Смирнов В. Э., Краснов Д.А., Камаев И. О. Плодородие еловых лесов Хибинских гор // Почвоведение. 2012. № 6. С. 682–694.
Смирнова О.В., Алейников А.А., Семиколенных А.А., Бовкунов А.Д., Запрудина М.В., Смирнов Н.С. Пространственная неоднородность почвенно-растительного покрова темнохвойных лесов в Печоро-Ильчском заповеднике // Лесоведение. 2011. № 6. С. 67-78.
Шанин В.Н., Шашков М.П., Иванова Н.В., Быховец С.С., Грабарник П.Я. Исследования структуры древостоев и микроклиматических условий под пологом леса на постоянной пробной площади в Приокско-Террасном заповеднике // Труды Приокско-Террасного заповедника. Вып. 7. М., Товарищество научных изданий КМК, 2018. С. 72-85.
R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ

Т.А.СУХАРЕВА

Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты

Мурманская область – индустриально развитый регион и одна из зон наиболее интенсивного природопользования в российской Арктике. Длительное техногенное воздействие со стороны крупных промышленных предприятий привело к значительному

увеличению содержания тяжёлых металлов в окружающей среде. При ухудшении качества природной среды необходимой становится оценка экологического состояния и потенциала почв как центрального компонента биосферы, являющегося мощным аккумулятором и трансформатором техногенных потоков вещества и энергии (Ковда, 1985). Состояние почвенного покрова во многом определяет устойчивость экосистем к антропогенным и климатическим изменениям. В последние десятилетия возрастает интерес к оценке степени загрязнения почв тяжёлыми металлами (ТМ), для проведения которой особую актуальность приобретает информация о природных (фоновых) концентрациях ТМ в почве. Используемая в настоящее время система ПДК является несовершенной и рассматривается многими исследователями как система непостоянных относительных величин, зависящая от почвенно-экологических факторов в конкретном регионе (Безносиков и др., 2005, Елькина, 2007, Тяжелые металлы..., 2015 и др.). В этой связи определение регионального фонового содержания отдельных химических элементов является важной задачей экологического мониторинга, позволяющая учитывать специфику местных почв. Реализация программы мониторинга северотаёжных лесов и выявление связи их состояния с факторами окружающей среды успешно осуществляется на территории Мурманской области. С 1991 года здесь проводятся регулярные наблюдения за состоянием различных компонентов лесных экосистем, в том числе почвы, на стационарных пробных площадях в зоне воздействия крупных горно-металлургических предприятий.

В почвенно-экологических исследованиях при оценке и контроле загрязнения почв тяжёлыми металлами широко применяется валовое содержание элемента, хотя почва способна связывать соединения металлов, переводя их в недоступные для растений формы. Поэтому для оценки поступления металлов из почвы в растения большое значение приобретают не столько валовые, сколько их доступные формы.

Подвижные соединения химических элементов – важнейшая группа химических веществ в почве, которые обуславливают выполнение почвой её основных экологических функций и как естественно-исторического тела, и как источника плодородия и защиты от загрязнения природных сред (Мотузова, 2009). Уровень содержания подвижных форм микроэлементов в почве позволяет определить обеспеченность почв химическими элементами для нормального роста и развития растений, уровни толерантных и токсичных концентраций (Сосорова и др., 2012).

Целью работы явилось изучение фонового содержания и профильного распределение доступных форм соединений тяжелых металлов в почве северотаёжных лесов с учетом межбиогеоценотического варьирования.

Объектами исследования послужили подзолистые почвы на юго-западе Мурманской области. Фоновая территория находилась на значительном удалении от источников техногенного загрязнения и включала 4 пробные площади: 2 – в сосновых (сосняки лишайниково-кустарничковые) и 2 – в еловых лесах (ельники кустарничко-зеленомошные). Определено содержание металлов (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cd, Pb, Co) методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Почвы в районе исследования представлены Al-Fe-гумусовыми подзолами, развитыми на ледниковых моренных песчаных отложениях (Переверзев, 2011). В современной классификации (Классификация почв..., 1997) подзолы, имеющие профиль O-E-BH-C, выделяются на уровне типа и входят в отдел альфегумусовых почв ствола постлитогенных почв (Переверзев, 2007).

По содержанию доступных форм ТМ в почвах фоновой территории образуется следующий аккумулятивный ряд: Mn>Zn>Fe>Pb>Ni>Cu>Co>Cd (органогенный горизонт) и Fe>Mn>Pb>Zn>Co>Ni>Cu>Cd (минеральные горизонты).

Внутрипрофильное распределение ТМ хорошо выражено, максимальная концентрация элементов отмечена в органогенных горизонтах почв, за исключением железа, который накапливается в иллювиальном горизонте (B). Содержание Fe и Pb в подгоризонтах подстилки F и H достоверно выше, чем в L-подгоризонте. Металлы (Mn, Zn, Cu) аккумулируются в L-подгоризонтах, что объясняется важной ролью данных элементов в метаболизме растений и высокой концентрацией в фитомассе растений. Достоверных отличий в содержании Ni в подгоризонтах подстилки не обнаружено.

Содержание Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cd в органогенных и минеральных горизонтах почв еловых лесов выше, чем в сосновых. Концентрация Pb и Co несколько выше в почвах сосновых лесов.

Обнаружены положительные корреляционные связи между содержанием почти всех рассматриваемых элементов. Выявлены корреляционные зависимости ($n=130$) между марганцем и цинком ($r=0.89$), марганцем и никелем ($r=0.71$), марганцем и медью ($r=0.60$), цинком и никелем ($r=0.68$), цинком и медью ($r=0.63$), цинком и свинцом ($r=0.54$), медью и никелем ($r=0.55$), свинцом и никелем ($r=0.66$), свинцом и кадмием ($r=0.86$).

Полученные результаты показывают существенное внутрипрофильное и межбиогеоценотическое варьирование содержания ТМ в почвах исследуемых биогеоценозов. Фоновые концентрации, установленные для подзолистых почв северотаежных лесов, позволяют проводить оценку состояния почвенного покрова в нарушенных антропогенной деятельностью экосистемах.

**Исследование выполнено в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ РАН (№ АААА-А18-118021490070-5) и частичной финансовой поддержки гранта РФФИ № 18-05-60142.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах южных районов Республики Коми. Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2005. № 2 (88). С. 12-15.
- Елькина Г. Я. Тяжелые металлы в системе почва – растение и подходы к нормированию их содержания в подзолистых почвах. Сыктывкар, 2007. 32 с.
- Переверзев В.Н. Почвообразование в лесной зоне Кольского полуострова // Вест. КНЦ РАН. 2011. № 2. С. 74–82.
- Классификация почв России. М.: Почв. ин-т им. Докучаева, 1997, 235 с.
- Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 447 с.
- Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: Системная организация, экологическое значение мониторинга. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 168 с.
- Переверзев В.Н. Зональные особенности альфегумусового почвообразования на моренных породах кольского полуострова. Почвоведение. 2007. № 1. С. 5–11.
- Сосорова С.Б., Гынинова А.Б., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Болонева Л.Н. Содержание микроэлементов и железа в почвах и растениях бассейна озера Котокельское (Западное Забайкалье) // Почвоведение. 2012. № 4. С. 429–438.
- Тяжёлые металлы в почвах Карелии / Отв. ред. Г.В. Ахметова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 222 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{90}Sr В ПОЧВАХ СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

О.Б.ЦВЕТНОВА, А.И.ЩЕГЛОВ, И.А. ГРАБЕКЛИС

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва.

Согласно официальным данным, в результате аварии на Чернобыльской атомной станции (1986 г.) радиоактивному загрязнению в той или иной степени подверглась почти вся территория Европейской части Российской Федерации (Атлас..., 1998). Наибольшие площади и уровни загрязнения были зафиксированы в Брянской области (171 тыс. га, в том числе с плотностью загрязнения от 37 до 185 кБк/м² 60%; 185-555 кБк/м² 23%; 155-1480 кБк/м² 15% и более 1480 кБк/м² около 2 %) При этом большая часть этой территории была представлена лесными угодьям (Прудников и др., 2007).

Как известно, при аэральных радиоактивных выпадениях в лесных экосистемах практически вся активность после перемещения из растительного яруса сосредоточивается в верхнем горизонте почв – лесной подстилке (Переволоцкий, 2006; Щеглов, 1999 и другие). В последующем происходит перераспределение радионуклидов по слоям почвенного профиля: в подстилке в листовом слое О1 отмечается выраженное однонаправленное самоочищение; в

подгоризонтах О2 и О3 динамика запасов радионуклидов характеризуется периодами нарастания до определенного максимума, затем снижения и стабилизации на соответствующем уровне. В минеральной толще почвы, напротив, относительная доля активности со временем нарастает. Интенсивность отмеченных процессов в подстилке и минеральной толще зависит от типа биогеоценозов, климатических и ландшафтно-экологических условий, а также ряда других факторов (Щеглов, 1999; Shcheglov et al, 2001).

В настоящее время, в частности в хвойных биогеоценозах Брянской области, основная часть активности одного из основных дозообразующих радионуклидов чернобыльского выброса ^{137}Cs по-прежнему локализована в подстилке (в гумифицированном подгоризонте О3) и подстилающем ее 0-1 см органоминеральном слое. Как показывают результаты наших исследований, здесь сосредоточено 54,4% суммарных запасов ^{137}Cs , в нижележащую 5 см толщу переместилось 36,1%, а в более глубокие слои – не более 10% выпавшей активности (Щеглов и др., 2015).

Вместе с тем для другого дозообразующего радионуклида чернобыльского выброса ^{90}Sr детальные исследования подобной направленности в отдаленный период после выпадений в хвойных фитоценозах зоны радиоактивного загрязнения в пределах Российской Федерации практически не проводились. В связи с этим основной целью нашей работы явилось изучение особенностей аккумуляции и распределения ^{90}Sr в почвах сосновых биогеоценозов Брянской области на современном этапе.

Исследования были осуществлены в 2017 -2018 гг. на территории радиоэкологического полигона кафедры радиоэкологии и экотоксикологии МГУ им. М.В. Ломоносова, который был заложен в Брянской области (Красногорский район, Красногорское лесничество), и где мониторинговые наблюдения за радиоэкологической обстановкой проводились с определенной периодичностью, начиная с 1988 года. Объектом исследований послужил сосняк зеленомошник 70-80-летнего возраста, сформированный на слабоподзолистых иллювиально-железистых песчаных почвах на флювиогляциальных отложениях. Доминирующая порода древесного яруса является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Проведенные исследования показали, что удельная активность ^{90}Sr в 0-30 см корнеобитаемой толще почвы с глубиной меняется: максимальные показатели отмечаются в подстилке – (4,1 и 4,35 кБк/кг, соответственно в подгоризонтах О2 и О3), вниз по профилю удельная активность ^{90}Sr резко снижается до 0,08 кБк/кг в слое 20-30 см. Выявленные особенности распределения ^{90}Sr в профиле почвы могут быть обусловлены, с одной стороны, удерживанием радионуклида в составе низкомолекулярных фракций органических веществ,

наибольшая доля которых приурочена к гумифицированному подгоризонту подстилки (Геохимия..., 2002); с другой слабой трансформацией органического вещества в подстилках хвойных лесов. Это, наряду с большой мощностью данных подстилок и резкими различиями в сложении органогенных и минеральных слоев, приводит к нарушению капиллярных связей и способствует ослаблению миграции веществ и влаги в их толще, что обуславливает удержание радионуклида в подстилке (Щеглов и др., 2005). Кроме того, высокая биологическая доступность и корневое потребление ^{90}Sr растениями приводят к значимому поступлению этого радионуклида на поверхность подстилки с растительными остатками в составе опада, что усиливает интенсивность процесса ее вторичного загрязнения (Щеглов, 1999).

Плотность загрязнения ^{90}Sr исследуемой 0-30 см толще почвы достигает 66,48 кБк/м². При этом максимальные запасы данного радионуклида также отмечаются в подстилке – 35,0%, с максимальной долей в подгоризонте ОЗ. При этом следует подчеркнуть, что данный слой имеет мощность всего около 1 см. Отсюда очевидна роль подстилки, и в особенности его гумифицированного подгоризонта, в аккумуляции ^{90}Sr и регулировании его миграции по почвенному профилю и в системе «почва – растение». В минеральной толще почв наибольший запас ^{90}Sr приурочен к слою верхнему 0-5 см слою (18,7%), с глубиной данный показатель закономерно снижается.

Таким образом, в настоящее время основная активность и запасы ^{90}Sr в почвах сосновых биогеоценозов Брянской области сосредоточены в лесной подстилке и прилегающему к ней 0-5 см слою – 53,7%, оставшаяся доля активности (46,3%) практически равномерно распределена по нижележащей 5-30 см толще.

Как уже подчеркивалось, аналогичные закономерности отмечаются также в профильном распределении ^{137}Cs . Однако по отношению к ^{137}Cs в почвенные слои глубже 5 см переместилась несколько большая доля ^{90}Sr .

В целом же, можно констатировать, что в лесных экосистемах зоны радиоактивного загрязнения почвы, в первую очередь, их верхние органогенные горизонты до настоящего времени являются биогеохимическим барьером на пути вертикальной миграции радионуклидов чернобыльского выброса.

ЛИТЕРАТУРА:

- Атлас загрязнения Европы цезием после чернобыльской аварии. ЕК/ ИГКЭ, Росгидромет /Минчернобыль (Украина), Белгидромет, 1998
- Геохимия техногенных радионуклидов /ред. Собонович Э.В., Бондаренко Г.Н. Киев: Наукова думка. 2002. 332 с.
- Переволоцкий А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: РНИУП «Институт радиологии». 2006. 255 с.
- Прудников П.В., Карпеченко С.В., Новиков А.А., Поликарпов Н.Г. Агрехимическое и агроэкологическое состояние почв Брянской области. Брянск: Изд-во ГУП «Клиновская городская типография». 2007. 608 с.

Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука. 1999. 268 с.

Щеглов А. И., Цветнова О. Б., Богатырев Л. Г. Роль лесных подстилок в миграции элементов техногенных загрязнителей // Проблемы радиозэкологии и пограничных дисциплин. Т. 6. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2005. С. 248–268.

Щеглов А.И., Цветнова О.Б., Касацкий А.А. Динамика загрязнения ^{137}Cs различных компонентов лесных экосистем Брянского полесья // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2014. №3. С. 17-22

Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyashtorin A.L. Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems. M.: Nauka. 2001. 235 p.

СЕКЦИЯ 7. Лесные почвы и лесное хозяйство



ПОСЛЕПОЖАРНОЕ РАЗВИТИЕ ПОЧВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ

А.Б. ГЫНИНОВА¹, А.И. КУЛИКОВ¹, Б.Д. ГЫНИНОВА², Б.Н. ГОНЧИКОВ¹,
Н.Б. БАДМАЕВ¹, Л.Д. БАЛСАНОВА¹

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ

²Филиал ФБУ “Рослесозащита”-“ЦЗЛ Республики Бурятия”, г. Улан-Удэ

В Бурятии изменение климата вызвало, наряду с аридизацией, значительное увеличение площадей экосистем, трансформированных пожарами. В условиях континентальности климата и потепления в регионе возникла опасность развития постпирогенных экосистем в нелесном направлении.

Для выяснения специфики послепожарного развития лесных экосистем исследовались почвы сосновых лесов Прибайкалья и послепожарных сукцессий методом ключевых участков и дистанционного зондирования (ДЗЗ). Сравнивались растительный и почвенный покров не тронутых пожарами за последние 100 лет участка (ключевой участок - КУ1) и постпирогенных экосистем через 15 лет после пожара: КУ2 - после низового пожара, КУ3 - после верхового пожара. В том числе было выполнено обследование возобновления древостоя. Данные по лесовозобновлению дополнялись материалами о проведенных мероприятиях по содействию возобновлению и посадках лесных культур, а также о переводе территорий в лесопокрываемые из таксационных описаний Кабанского лесничества.

Исследованные послепожарные экосистемы гарей лишайниковых сосняков располагаются на озерно-речных террасах Байкала и Селенги и примыкающих к ним делювиальных шлейфах нижней части склонов предгорий хр. Морской с общим уклоном 1-2° на запад. В связи с тем, что в районе исследования долина р. Селенга сужается, ветры с Байкала достигают большой силы, песчаные отложения террас и подножий склонов гор частично переветрены. С севера и востока территория исследования оконтуривается речкой, представляющей собой естественную преграду для пожара.

Допожарная и послепожарная покрытость лесом территории исследования выявлена при дешифрировании разновременных космоснимков: до пожара (1995 г) и после пожара (1997 г). Составленные на основе дешифрирования космоснимков карта-схемы позволяют констатировать, что на исследованном лесном массиве до пожара было покрыто лесом 98,2% территории. Непокрытые лесом территории составляли 1,2 %, и были представлены вытянутыми по направлению ветров с запада на восток дефлированными песками, имеющими вид полос шириной около 100 м и формирующими своеобразный бугристый золовый рельеф.

В 1996 году было пройдено пожарами 6,8 км², и уничтожено верховым пожаром 87,6 % территории. Покрытыми лесом остались только участки, трансформированные низовым пожаром. Они занимают 11,2 % от общей площади гари. Контуров этих территорий имеют вид вытянутых с севера на юг полос, что обусловлено расположением противопожарных объектов (канав, полевых дорог).

Полученные данные пересчета подроста коррелируют с данными дешифрирования космоснимков 2013 года. На космоснимках отчетливо диагностируются территории, покрытые взрослым лесом после низового пожара (темно-зеленые), молодым лесом (светло-зеленые с ровной прокраской - 4,0-7,8 тыс.шт./0,01 км²), относительно редким молодым подростом (крапчатые, серовато-зеленые - 1.5-4,0 тыс.шт./0,01 км²) и ориентированные с запада на восток песчаные полосы шириной 100-150 м практически не покрытые лесом (0-700 шт./0,01 км²). Занимаемая ими площадь составляет 11,2 %, 75,2 % и (12,4 +1,2) % соответственно. Практически не покрытые лесом территории представлены дефлированными полосами, приуроченными к пологим склонам одновременно наветренной и солярной западной экспозиции. Площадь эоловых песков увеличилась с 1,2 % до 13,6 %. В условиях бугристого рельефа они участками в виде вытянутых полос встречаются по всей территории гари. Степень лесопокрытости исследованного объекта в связи выполнением лесопосадочных работ (27,9 % площади) и мероприятий по содействию естественному возобновлению (31,9 %) осталась достаточно высокой. Естественное возобновление удовлетворительно лишь на 40,2 % территории, где почва получает дополнительную влагу из грунтовых и склоновых вод и плотность молодняка составляет >4 тыс. шт./0,01 км², средняя высота ~ 2 м.

В процессе послепожарного восстановления леса динамика растительных сообществ в значительной степени определяется почвой. Почва *контрольного КУ1* имеет профиль O (0-4) - We (4-9) - C^{••}f (9-33) - C1^{••}f (33-70) - C2^{••}(70-110). Морфология профиля позволяет отнести почву к типу псаммозем гумусовый, подтипу оподзоленный отдела слаборазвитых.

Исследование морфологического строения профиля почвы *КУ2* свидетельствует о хорошей сохранности пирогенных признаков, образовавшихся под воздействием низового пожара и имеет строение O (0-1) - O_{пир} (1-2) - A_{Упир} (2-8) - C^{••}f (8-37) - C1^{••}(37-60) - C2^{••}(60-120). К ним относятся: обугленность органического вещества поверхностных горизонтов профиля и отсутствие признаков оподзоливания в виде белесых пятен в нижней части гумусового горизонта. Предлагается выделить подтип почвы «постпирогенный» и отнести к ней исследованную почву: псаммозем гумусовый постпирогенный.

Морфология профиля почвы W(0-1)-C^{••}f(1-8)-C1^{••}(8-41)-C2^{••}(41-102) после верхового пожара (*КУ3*) позволяет предполагать, что после уничтожения всего

органического вещества экосистемы, на открытой после пожара территории получает развитие процесс дефляции. В этих условиях растения поселяются на относительно лучше защищенных от ветра элементах микрорельефа, а в зонах с более активными ветровыми потоками возобновление древостоя не происходит. Сформировавшийся после пожара профиль почвы под возобновляющимся молодым лесом свидетельствует о принадлежности почвы к отделу Слаборазвитые, типу псаммозем гумусовый.

Почвы постпирогенных сукцессий сосновых лесов после низового пожара сохраняют как морфологические признаки, так и физико-химические свойства, сформировавшиеся при пожаре. Сохраняется некоторое нейтрализующее влияние золы, однако, насыщенность почвенно-поглощающего комплекса очень низкая. Очевидно, важной причиной отсутствия подраста является высокая степень сохранности углистого прослоя, в целом, отрицательно влияющего на возобновление лесной растительности. В связи с этим можно рекомендовать для более активного восстановления лесной экосистемы после низового пожара проведение минерализации, разрыхления и перемешивание углистого слоя с минеральным горизонтом.

После верховых пожаров восстановление лесной экосистемы происходит очень неравномерно: чередуются участки с хорошим, удовлетворительным и неудовлетворительным возобновлением древостоя. Почва под молодым лесом характеризуется слабым развитием профиля, но направленность почвообразования имеет сходство с таковым контрольного участка. Неудовлетворительное возобновление обусловлено иссушением почвы и дефляцией при уничтожении лесного полога.

На участках с неудовлетворительным возобновлением древостоя рекомендуется производить посадки древесных пород поэтапно, с учетом эффекта опушек. То есть подсаживать деревья на опушках и после перевода их в лесопокрытые, вновь производить посадки у стены молодого леса.

Использование дистанционных методов позволило установить, что около 60 % территории находятся в зоне затрудненного лесовозобновления и требуют проведения лесовосстановительных мероприятий. При этом, несмотря на выполненные работы, через 17 лет после пожара, непокрытая лесом дефлированная площадь увеличилась в 11 раз. После пожара образовались типы почв псаммоземы гумусовые и псаммоземы гумусовые постпирогенные, имеющие определенные отличия в морфологическом строении от почв контрольного участка - псаммоземов гумусовых оподзоленных. Часть почв преобразовалась в дефлированные пески.

**Работа выполнена в рамках госзадания АААА-А17-117011810038-7 и при поддержке грантов РФФИ № 18-45-030033 р_а, № 18-45-030022 р_а.*

ВОПРОСЫ УЧЕТА ПОЧВЕННО-ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

В.И. ЖЕЛДАК

¹ Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», г. Пушкино, Московской области

Лесоведение – лесоводство исторически, в т.ч. на основе достижений почвоведения (Морозов, 1970; Мигунова, 2007), в лесной типологии определило, по существу, своеобразный механизм учета, оценки и использования свойств почвы, как важнейшего компонента лесорастительных условий в достижении целей ведения лесного хозяйства и лесопользования.

Несмотря на понимание важности учета почвенно-лесорастительных условий, отражаемых в типах леса, наличие исторически сложившихся региональных типологических классификаций лесов, проблема адекватного эффективного их применения на практике при проектировании, планировании и осуществлении лесоводственных (лесохозяйственных) мероприятий, в целом, остается нерешенной. В определенной мере почвенно-лесорастительные условия учитываются в нормативных документах (правилах лесовосстановления, правилах ухода за лесами и других), в т.ч. для установления соответствия типам леса (лесорастительным условиям) целевых пород и необходимого, нормативного, количества высаживаемых молодых растений в расчете на единицу площади участка, а также рамочных нормативов разреживания насаждений определенного породного состава при уходе за лесами и других показателей осуществляемых мероприятий.

Однако часто на участках коренных боровых типов леса с песчаными почвами (сосняки брусничные, сложные, черничные мелкотравные) при лесовыращивании возобновившаяся под пологом ель (по учету - подрост ценных хвойных пород) при рубках спелых древостоев сохраняется, но из него затем формируется, по существу, производные древостои ели, уступающие соснякам по продуктивности и качеству. Не случайно, И.С. Мелехов, выделял задачу лесоводства – «восстановления хвойных лесов, особенно сосновых, которые в результате проводимых рубок вытесняются не только лиственными породами, но и елью» (Мелехов, 1989, с. 16).

В то же время на практике наблюдается и противоположно направленный процесс, когда при рубках (промышленной заготовке древесины), осуществляемых комплексами

многооперационной техники чаще крупными, экономически мощными лесозаготовительными компаниями, в еловых лесах коренных типов леса с богатыми суглинистыми почвами (ельники сложные, кисличные и сходные с ними типы леса), имеющиеся на лесных участках (особенно с древостоями смешанного породного состава и с преобладанием лиственных пород) молодое жизнеспособное поколение ели не сохраняется, а после рубок закладываются лесные культуры, в т.ч. селекционно улучшенным посадочным материалом, выращенным в современных питомниках (селекционно-семеноводческих центрах) с закрытой корневой системой в расчете на выращивание целевых продуктивных древостоев. Даже при высоко затратном достижении этой цели продолжительность цикла лесовоспроизводства (ЛВП) увеличивается на 10 – 30 лет, при том, что экологические свойства лесных экосистем, формирующихся на основе естественного лесовозобновления выше, чем – лесокультурного.

К тому же при массовой закладке лесных культур ежегодно на больших площадях вырубок в почвенных условиях благоприятных для произрастания многих древесных пород, высаженные лесокультурные растения покрываются пологом мощного естественного возобновления быстрорастущих лиственных пород, обладающих еще и высоким потенциалом вегетативного возобновления, в связи с чем вырубку лиственных, особенно осины, в порядке ухода за культурами необходимо осуществлять практически ежегодно в течение нескольких лет (что, как правило, не реально, даже при наличии средств в связи с возрастающими объемами работ).

С проявлением указанных природных процессов и недостатков управления лесами, ведения лесного хозяйства без должного учета почвенно-лесорастительных, в целом лесотипологических условий, связаны, по существу, большие экологические и экономические потери – неэффективное использование потенциально продуктивных участков лесного фонда (лесных почв – коренных ельников, сосняков сложных широколиственных и сходных с ними типов леса в разных регионах страны), где после сплошных рубок обеспечивается обильное возобновление второстепенных пород, в т.ч. малоценных – особенно осины, ивы и других.

К резко отрицательным последствиям, известным в лесоводстве уже в прошлом, но проявляющимся и в настоящее время, приводят попытки широкой замены в экологических целях сплошных рубок выборочными, особенно в связи с законодательными требованиями применения в защитных лесах, как правило, только выборочных рубок (Лесной кодекс РФ). При шаблонном применении выборочных рубок, в т.ч. на участках с влажными, переувлажненными почвами и без предшествующего системного выращивания в режиме

рубок ухода, практически все разреживаемые древостои значительно теряют устойчивость, тем более - ели, пихты и других пород с поверхностными корневыми системами.

Исключение отмеченных недостатков и совершенствование системных мероприятий ведения лесного хозяйства с учетом эффективного целевого использования продуктивного потенциала почвы, в целом, лесорастительных условий, возможно путем осуществления комплекса *исторически выработанных лесоводством и развитых* в связи с меняющимися природными экологическими и экономическими условиями, а также *новых разработок* лесоводства, среди которых можно выделить ряд ключевых.

В частности, в рамках реализации систем лесохозяйственных (лесоводственных) мероприятий (Моисеев, Побединский, 1986; Желдак, 2005), учитывая известную успешность естественного возобновления сосны на сравнительно бедных песчаных почвах коренных типов сосновых лесов (сосняков брусничных, сосняков сложных и сходных с ними), на *стадии завершения формирования и стадии сохранения сформировавшихся или сформированных насаждений* целесообразно осуществление мер содействия лесовозобновлению, в т.ч. *с удалением нецелевого подроста ели* при его наличии, исключая тем самым нежелательную смену пород при рубке, а также затраты на создание лесных культур (и в целях экономии средств для использования их на более необходимые мероприятия восстановления леса).

В почвенных лесотипологических условиях благоприятных для произрастания не только ценных хвойных пород, но и обильного возобновления мягколиственных, в т.ч. осины, при высокой опасности смены пород в связи с рубкой, целесообразно использовать, развитые в рамках разработки систем лесоводственных мероприятий на зонально-типологической основе, *меры содействия предварительному возобновлению целевой породы на завершающем этапе стадии сохранения насаждений*, создавая для появления и роста молодого поколения ели под пологом относительно благоприятные условия - путем вырубki подлеска, старого нецелевого подроста, мешающих возобновлению целевой породы, а также и других мероприятий. При осуществлении таких мер возможно создание под пологом молодого поколения леса целевой породы – жизнеспособного перспективного подроста. Сохранение такого подроста при рубке, в т.ч. *с учетом совершенствования самой системы рубок - применением на таких участках одноприемных выборочных рубок*, исключает возможность массового возобновления лиственных пород и большие затраты на создание лесных культур с многократными уходами, которые в реальных условиях могут быть недоступны.

В целом, *устранение отмеченных недостатков ведения лесного хозяйства, в значительной мере, достигается в рамках перехода к системному осуществлению лесоводственных мероприятий путем детального учета почвенных лесотипологических условий при назначении, планировании, проектировании и осуществлении всех мероприятий содержания и использования лесов.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Желдак В.И. Лесоводственные системы // Лесной вестник. М.: МГУЛ. 2005. № 5. С. 119-126.
Мелехов И. С. Лесоводство. М.: Агропромиздат, 1989. 302 с.
Мигунова Е.С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение). М.: МГУЛ, 2007. 2-е изд. 592 с.
Моисеев Н. А., Побединский А.В. Зональные системы воспроизводства лесных ресурсов. Лесн. хоз-во, 1986. № 10. С. 15–19.
Морозов Г. Ф. Избранные труды. Т. 1. М., 1970. 460 с.

ДИНАМИКА СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ САМОВОССТАНОВЛЕНИИ ЗАЛЕЖЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЛИТОГЕННЫХ МАТРИЦАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

Е.Н.НАКВАСИНА¹, А.Г. ВОЛКОВ¹, Л.В. ГОЛУБЕВА², Т.А. ПАРИНОВА¹, А.А. ПОПОВА³

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

²Архангельский педагогический колледж

³Станция агрохимической службы «Архангельская»

При изменении социально-экономического строя в России посевные площади сократились на 40,2 млн. га (Иванов, Волков, Савин, 2017). Нечерноземные регионы северной части Европейской территории России, с точки зрения агрогенной трансформации, пострадали более других регионов, доля отчуждения земель достигала 95% (Мухин, 2012). Процесс забрасывания земель на Севере происходил и ранее, что связано с историческим освоением региона, распространением подсеčno-огневой и лесопольной систем земледелия и становлением колхозов в советское время (Трубин, 2016). Старые залежи в таежной зоне встречаются повсеместно. При этом в пул отчуждения попадали почвы различного плодородия и различного генезиса. Север Русской равнины вообще отличается высокой литологической матричностью, здесь распространены бескарбонатные и карбонатные моренные отложения, выходы известняков верхнего карбона и пермских мергелей, аллювиальные отложения в поймах рек и др. Почвы на этих отложениях традиционно использовались в сельском хозяйстве. В настоящее время наличие залежных экосистем разного периода позволяет изучить процессы залежеобразования в возрастной динамике в

сходных климатических условиях на почвах постлитогенного и синлитогенного генезиса, формирующихся на карбонатных и бескарбонатных, аллювиальных отложениях..

Для изучения динамики залежеобразования подобраны поля различного возраста отчуждения с зональными дерново-подзолистыми почвами (Ленский, Холмогорский районы Архангельской области), с интразональными аллювиальными почвами в дельте Северной Двины (Приморский район), а также с азональными текстурно-метаморфическими грубогумусированными остаточно-карбонатными почвами (Горячкин, 2010), сформированными на карбонатных отложениях с высоким содержанием кальцита (Каргопольский район).

При исследовании определялись основные физико-химические свойства почв по общепринятым в почвоведении методикам и ГОСТам.

Независимо от генезиса почвообразования и локализации пашен характер их самовосстановления имеет общие черты. При наличии стен леса происходит зарастание полей древесными и кустарниковыми видами, поселение может сдерживаться промежуточным использованием залежей (сенокошением). Внешний облик строения почвы по крайней мере в течение 60 – 130 лет (возраст изученных залежей в разных местоположениях) сохраняет черты пахотного состояния: ровная граница, выраженная турбированность и нехарактерная для нативных почв темная окраска пахотного горизонта. Однако в динамике изменения физико-химических свойств почв на разных литогенных матрицах имеются свои особенности, связанные с их природным (доагрогенным) генезисом, что определяет различную скорость самовосстановления до уровня природных аналогов.

У зональных дерново-подзолистых почв на залежных пашнях разного возраста среднее содержание гумуса практически не изменяется, и колеблется в пределах 2.8 – 2.9%, но со временем снижаются максимальные значения показателя (с 4.7 до 3.9%). Достаточно резко происходит уплотнение почв, через 20 лет плотность сложения может достигать значений 1.69 г/см³. За этот же период в отсутствии внесения мелиорантов возрастает кислотность почв (до рН_{сол.} 4.3 – 4.8), снижается сумма обменных оснований, емкость катионного обмена и насыщенность почв основаниями (до 17 – 53%), содержание подвижных форм калия и фосфора. На залежах, расположенных на почвах подзолистого типа на бескарбонатной морене наиболее выражено снижение кислотности почв, которое за 20 лет отчуждения полей из активного сельскохозяйственного пользования, несмотря на достаточно высокие содержания гумуса в пахотном горизонте, приводит к возврату кислотно-щелочного баланса и состояния почвенно-поглощающего комплекса до уровня зональных природных почв.

Пойменные пашни, доля которых в почвенном покрове области составляет около 5%, активно использовались в сельском хозяйстве со времен освоения Севера. Из-за выпашанности почв и сокращения мелиоративных мероприятий в последние годы характерно снижение плодородия. На залежах свойства почв поддерживаются комплексом факторов: аллювиальные процессы, постагрогенное состояние и разрастание травянистой растительности, фитомасса которой на залежных лугах достигает 35 т/га зеленой массы. В первые годы залежеобразования наиболее чувствительны физические свойства почв. В течение первых 5 лет на 10% снижается плотность сложения, в последующие годы равновесная плотность остается на уровне 1.0 – 1.33 г/см³ и в среднем соответствует естественным угодьям автоморфного ряда ($t_{0.05} < t_{\text{табл.}}$). Существенное повышение плотности сложения, снижение скважности происходит лишь при зарастании древесно-кустарниковыми породами (ива, черемуха и т.п.) и заболачивании почв. На залежных угодьях автоморфного ряда при исключении антропогенного вмешательства происходят заметные изменения в гумусном и кислотном режимах пахотного горизонта. Идет накопление гумуса, содержание которого уже через 5 лет разрастания травянистой растительности достигает 2.8 – 3.1% и соответствует естественным угодьям. На залежах старше 20 лет одновременно идет закономерное подкисление почвы $pH_{\text{сол}}$ 6.2 до 5.3, приближая залежи к кислотному режиму естественных почв. Динамика содержания подвижных форм фосфора и калия разнонаправлена. Высокий уровень фосфатов, характерный для пашен, поддерживается на залежах до 40-летнего возраста, в 3 раза превышая содержание P_2O_5 в почвах природных лугов. В то же время, уровень обменного калия в период залежеобразования несколько выше или соответствует природным пойменным почвам региона. Показатели ППК (сумма обменных оснований, емкость катионного обмена, степень насыщенности почвы основаниями) залежей автоморфного ряда достаточно высоки, что в целом характерно для пойменных природных почв и агроземов.

Геологические особенности (распространение карбонатных отложений) обусловили варьирование морфологии, свойств и почвообразовательных процессов, отличающих почвы Каргопольского района от зональных аналогов. Остаточно-карбонатные почвы Каргопольской суши обладают практически несовместимыми свойствами: тяжелым гранулометрическим составом, высокой гумусированностью и значением pH, но высокой степенью оподзоленности (Афанасьев, Кашанский, 1963). В районе до 70% всех сельскохозяйственных земель приурочены к почвам на карбонатных отложениях.

В течение 20 лет после прекращения обработки происходит уплотнение почв до типичной величины, соответствующей плотности сложения для подпахотных горизонтов (1.6

– 1.7 г/см³). В то же время сохраняется благоприятная, близкая к нейтральной, реакция среды, подкисление старопашотного горизонта начинает проявляться только через 40 лет при зарастании залежи лесом. Несмотря на зарастание древесной растительностью и формирование на старых залежах лесов, гумусное состояние почв поддерживается на уровне среднего по области (3.1%), степень насыщенности почв основаниями достигает 96 – 99%, что значительно выше, чем у зональных подзолистых почв. В то же время происходит заметное снижение доли подвижных форм фосфора и особенно калия. По показателям ППК дерново-подзолистые остаточного-карбонатные почвы спустя 20–40 лет после прекращения обработки и естественного зарастания, в т.ч. древесной растительностью, можно отнести к высокоплодородным окультуренным почвам.

**Исследования поддержаны грантом РФФИ и правительства Архангельской области № 17-44-290111.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Афанасьев Г.В., Кашанский А.Д. Известкование кислых почв в Архангельской области. Архангельск: Северо-Западное книжное издательство, 1964. 63 с.
- Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
- Иванов, А.Л., Волков, С.Н., Савин, И.Ю. Почвенно-экологические и инфраструктурные аспекты реализации стратегии развития агропроизводства в России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, Выпуск 89, 2017. С. 104-120.
- Мухин Г.Д. Климатические изменения и сельскохозяйственное землепользование: проблемы и перспективы // Рациональное природопользование: традиции и инновации: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносов. М., 2013. С. 80-82.
- Трубин Д.В. Агрофорест: пашня и лес в неразрывной связи // Эко-потенциал, № 2 (14), 2016. С. 12-21.

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ УРАЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА

Д.Д. НИЖЕГОРОВОДА, Л.Д. ШЕСТАКОВА, Л.П. АБРАМОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

Актуальность темы заключается в том, что, несмотря на определенную степень изученности почв, вопросы пространственной организации почвенного покрова во многом остаются неясными.

В основу диагностики почв положено несколько принципов, главные черты которых были сформулированы еще в трудах В. В. Докучаева и его непосредственных учеников: 1) профильный метод; 2) комплексный подход; 3) сравнительно-географический анализ; 4) генетический принцип (Егоров и др., 1977).

Исследования лесных почв были проведены в окрестностях города Екатеринбурга на территории Уральского учебно-опытного лесхоза (УУОЛ). В районе расположения лесхоза УУОЛ УГЛТУ процессы выветривания коренных материнских горных пород сочетаются с почвообразовательными процессами, в результате чего основной фон почвенного покрова составляют почвы, имеющие горный облик; а разнообразие встречающихся здесь почвообразующих пород обусловило пестроту и сложность почвенного покрова этой территории (Гафуров, 2008). Формируются они, главным образом, под сосновыми лесами и частично под березняками, ельники занимают небольшие площади и встречаются по понижениям рельефа, в поймах рек и на краях болот и заболоченных площадях. Вершины и верхние трети крутых склонов, где мощность элювиальных отложений наименьшая, заняты неполноразвитыми маломощными бурыми почвами; к средним и нижним третям покатых склонов приурочены бурые оподзоленные и оподзоленные. Плоские вершины невысоких увалов, пологие склоны, а также хорошо дренируемые понижения, заняты дерново-подзолистыми почвами, которые различаются по мощности профиля и степени оподзоленности. Пониженные участки рельефа, где имеет место избыточное поверхностное и грунтовое увлажнение, заняты болотными почвами (Фирсова, Ржанникова, 1972).

Почвенные разрезы были заложены в различных растительных условиях. Типы почв – бурые лесные (оподзоленно-глеевые, оподзоленные, типичные), подзолистые (дерново-подзолистые), болотные (торофяно-глеевые). Определялись и описывались почвенные горизонты, живой напочвенный покров, тип леса. После отбора почвенные образцы направлялись на химический анализ, проводившийся в лаборатории почвоведения Уральского государственного лесотехнического университета общепринятыми методами (Луганский и др., 2018).

Плодородием почвы определяется видовой состав древостоя, подлеска, живого напочвенного покрова и продуктивность леса. На возвышенностях почвообразующие процессы проходят не интенсивно из-за того, что не хватает влаги. В понижениях влаги больше, почвообразующий процесс идет быстрее. Это отражается не только на растительности, но и на механическом составе почвы. В основном изученные почвы легкосуглинистые, но с повышением влажности и ниже по склону встречаются среднесуглинистые почвы. В болотных типах почв распространены тяжелосуглинистые почвы.

Более сухой и холодный климат, а также горный и пересеченный рельеф благоприятствуют развитию почвенного покрова со скелетными почвами. Бурая лесная типичная и подзолисто-глеевая почва является самой каменистой среди изученных почв -

каменистость горизонтов доходит до 47%, а у глеево-дерновых самая низкая скелетность (не превышает 4%). По удельному весу все почвы относятся к нормальным с удельным весом 0.95-1.15 г/см³.

На возвышениях рельефа главной породой является сосна обыкновенная, с понижением рельефа и увеличением влажности в составе древостоя появляется береза повислая и ель обыкновенная. Живой напочвенный покров также меняется с изменением влажности, типа леса и почвы. Так, в сухих типах леса растет брусника, кошачья лапка, лишайники, а в типах леса с повышенной увлажненностью доминантами живого напочвенного покрова будут тростник обыкновенный, крапива двудомная, мох сфагнум, хвощ лесной, вейник наземный, купальница европейская.

Низкую обеспеченность калием имеют следующие почвы: бурая лесная типичная почва, на которой произрастает сосняк разнотравный, и дерново-подзолистая почва, на которой произрастает ельник-сосняк зеленомошно-ягодниковый; средняя обеспеченность калием отмечена в горизонтах глеево – дерновой почвы под сенокосом и под сосняком и ельником влажнотравным, а также в горизонтах бурой лесной оподзоленно-глеевой почвы под сосняком разнотравным, а самое большое содержание калия (12 мг К₂O на 100 г. почвы) среди изученных почв отмечено в бурых лесных подзолисто-глеевых почвах. Верхние горизонты бурой лесной типичной почвы, на которой произрастает сосняк орляковый, и бурой лесной неполноразвитой, на которой произрастает сосняк брусничный, отличаются средним содержанием калия, а нижние горизонты этих почв слабо обеспечены этим элементом питания. Самая высокая гидролитическая кислотность обнаружена в верхнем горизонте бурой лесной неполноразвитой почвы 14.3 мг-экв. на 100 г почвы, а самая малая в глеево-дерновых почвах. Почвенные горизонты в основном имеют кислую реакцию (рН_{KCl} от 4.6 до 5.2), за исключением горизонтов ВС и горизонтов глеево-дерновых почв, у которых реакция слабокислая. С увеличением в составе листовых пород кислотность почвы снижается. Поглощенные основания интенсивно накапливаются в перегнойном горизонте. Затем их количество резко уменьшается вниз по профилю. Гумус имеет аналогичный характер распределения по профилю.

Выводы:

1. Химические свойства лесных почв существенно варьируют в зависимости от направления почвообразования, состава пород и типа леса.

2. В большинстве случаев реакция в профиле кислая или слабокислая. Повышенной кислотностью и ненасыщенностью основаниями характеризуются бурые лесные оподзоленные и оглеенные почвы.

3. Сосняки ягодниковые чаще всего произрастают на бурых лесных типичных и оподзоленных почвах, средних частях склона, сухих местах.

4. Сосняк разнотравный формируется на бурых лесных типичных и оподзоленно-глеевых почвах, а также на дерново-подзолистых в нижних частях склона, т. е. в более влажных условиях по сравнению с сосняком ягодниковым.

5. Сосняк орляковый обнаружен нами на бурых лесных типичных почвах на средних частях склона, сосняк-ельник влажнотравный на глеево-дерновых на нижних частях склона.

6. Сосняк брусничный занимает верхние части склона в более сухих местах и формируется на бурых лесных неполноразвитых почвах. В низинах, где влажность выше, встретились сосняк-ельник осоково-сфагновый и березняк осоково-сфагновый на болотных торфяно-глеевых почвах.

ЛИТЕРАТУРА:

- Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 396 с.
Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н. и др. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
Луганский В.Н., Абрамова Л.П., Бачурина Л.П. Химический анализ почв. Екатеринбург: Уральский Государственный Лесотехнический Университет, 2018. 49 с.
Фирсова В.П., Ржанникова Г.К. Почвы южной тайги и хвойно-широколиственных лесов Урала и Зауралья // Лесные почвы южной тайги Урала и Зауралья. Свердловск: ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1972. Вып.85. С. 387.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭДАФИЧЕСКОЙ СЕТКИ П.С. ПОГРЕБНЯКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

А.С. ПУРЯЕВ

Филиал федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Восточно-европейская лесная опытная станция», г. Казань

Одним из основных принципов ведения лесного хозяйства является устойчивое управление лесами, сохранение биологического разнообразия лесов, повышение экологического потенциала, а также повышение их производительности. Что касается последнего, то, в первую очередь, это относится к увеличению запаса стволовой древесины насаждений, той или иной преобладающей древесной породы, с единицы площади. Наличный запас древесины непосредственно зависит от климатических и почвенно-геологических факторов, т.е. от условий среды.

Комплекс вышеуказанных факторов, имеющих однородный лесорастительный эффект, принято объединять в определенный тип лесорастительных условий (ТЛУ). Все многочисленные лесоводственные мероприятия, которые проводятся в лесу, могут дать

надлежащий эффект только в том случае, когда техника и технология их проведения будут соответствовать лесорастительным условиям, а также если условия произрастания будут отвечать биоклиматическим особенностям выращиваемых лесов (Побединский, 1979).

В лесоустройстве, при таксации лесных насаждений, для определения ТЛУ, принято пользоваться классификацией типов условий местопроизрастания, сформировавшейся в школе украинского лесотипологического направления, так называемой эдафической сеткой П.С. Погребняка.

В основу данной классификации положены эдафические факторы лесообразования: трофность (плодородие) почвы и ее увлажнение. Трофогенный ряд отражает различие в количестве питательных веществ почвы и включает в себя четыре градации: А – боры, В – субори, С – сложные субори, D – дубравы. Почвенное плодородие увеличивается от А до D. Степень увлажнения почвы характеризует гигрогенный ряд, который состоит из 6 отдельных членов, обозначаемых цифрами от 0 до 5, обозначающие в выражении: 0 – очень сухие, 1 – сухие, 2 – свежие, 3 – влажные, 4 – сырые, 5 – мокрые.

По Погребняку, в качестве главного фактора выступает гранулометрический состав, обуславливающий ее плодородие (Погребняк, 1955). Он пишет, что «соотношение песка и глины – важный показатель почвенного плодородия: чем больше глины, включающей коллоидные частицы почвы – основных носителей плодородия, тем плодороднее почва». Мы придерживаемся мнения маститого ученого и считаем, что гранулометрический состав почвы является наилучшим показателем определения плодородия почвы. Данное морфологическое свойство почвы является устойчивым, легко определяемым в полевых условиях и, к тому же, оказывающим существенное влияние на химический состав минеральной части почво-грунта и на его физические свойства. Также необходимо подчеркнуть, что гранулометрический состав почвы – это уровень «базовой структуры», потому что именно на этом уровне формируются основные, базовые свойства почвы. От того, в какой степени в почве представлены крупные или мелкие частицы, будут зависеть все фундаментальные свойства, ее поведение в отношении и поглощения и проведения веществ и энергии, их трансформация (Шеин, 2005).

Базовость (фундаментальность) использования гранулометрического состава почвы, для определения типов лесорастительных условий земель заключается еще и в том, что так оценивается потенциальное плодородие почв, которое при определенных мелиоративных мероприятиях может перейти в эффективное плодородие, т.е. дающее конкретный эффект, в нашем случае – лесоводственный.

Однако на практике часто лесоустроители при оценке типов лесорастительных условий пользуются косвенными характеристиками. Указывают ТЛУ по преобладающей породе, если на выделе растет сосна – идентифицируют бор – А, в случае ели – сурамень (С), к трофотопу В (субори) относятся сосняки и ельники, произрастающие как на супесчаных, так и на легко суглинистых почвах. К трофотопу D (рамень, дубрава) относят дубравы на суглинках или даже на супесях, подстилаемых глинами (Газизуллин, 2007). В результате таких оценок ТЛУ занижается потенциальная производительность лесных земель и происходит дезориентация производителей при выборе хозяйственно ценной породы для выращивания на конкретном выделе.

Итак, классификационная схема типов условий местопроизрастания П.С. Погребняка является простой в использовании, основанной на определении двух свойств почвы – влажности и гранулометрического состава, которые легко, по морфологическим признакам, определяются в полевых условиях.

Однако, если допустить, что на практике эдафическая сетка П.С. Погребняка применяется в правильном, классическом ее толковании, она все равно имеет ряд недостатков и должна быть скорректирована с учетом региональных условий, в частности такую необходимость мы видим для Республики Татарстан. *Во-первых*, она не имеет промежуточных, переходных ТЛУ, на этот факт еще ранее указывалось в работах исследователей (Порфирьев, 1970). *Во-вторых*, в условиях Республики Татарстан широко распространены почвы, сформированные на двучленных и многочленных отложениях. Исследования ученых указывают, что двучленность и многочленность почвенного профиля прямо влияет на производительность лесных насаждений (Газизуллин, 2005; Пуряев, Газизуллин, 2011). *В-третьих*, на территории региона распространены отложения карбонатных пород, залегающих часто близко к дневной поверхности.

Таким образом, для объективной оценки лесорастительных условий как покрытых лесом, так и не покрытых лесом земель Республики Татарстан, нами предлагается усовершенствование, применяемой в лесоустроительной практике региона, эдафической сетки П.С. Погребняка.

Классификация основана также на двух свойствах - на влажности и гранулометрическом составе почвы. Индекс увлажнения почвы аналогичен классификации П.С. Погребняка (0, 1, 2 ...). Ряд трофности немного изменен. Предлагаемая классификация включает в себя буквенное обозначение ТЛУ (латинские буквы), его название и соответствие гранулометрическому составу:

А – бор – песок;

- В – суборь – супесь;
- BC – сурамень – легкий суглинок;
- С – рамень – средний суглинок;
- CD – судубрава – тяжелый суглинок;
- D – дубрава – глина;
- R – рендзина – плотные или рыхлые известняки.

Гранулометрический состав почвы указанной градации легко определяется в полевых условиях хорошо известным методом мокрого растирания.

При указании степени влажности, название должно отражать и этот показатель (CD₂ - свежая судубрава, C₃ - влажная рамень, A₁ - сухой бор и т.п.).

Типы лесорастительных условий, характеризующихся двучленностью (многочленностью) почвенного профиля, необходимо обозначать следующим образом (пример):

A/BC - боровая сурамень; В/BC - суборевая сурамень; C/В - раменная суборь; СВ/R - судубрава на рендзине. В таких случаях определенный индекс влажности отражается по верхнему слою (н-р, A₂/BC - свежая боровая сурамень и т.п.). При указании на многочленность отложения почвенной толщи, название ТЛУ может обозначаться, например, так: A/BC/D – боровая сурамень на дубраве. При таком обозначении определенно становится ясно, что с глубиной почвенного профиля происходит утяжеление гранулометрического состава, определенно влияя на физические и физико-химические свойства почвы, что обязательно должно учитываться при лесокультурных и лесоводственных мероприятиях.

Данной классификации присуще несколько положительных сторон:

1) Сохранена *преemptивность* эдафической сетки П.С. Погребняка, длительно применяемой и положительно зарекомендовавшей себя на практике при определении ТЛУ, что позволит усовершенствованной классификации безболезненно быть используемой на практике.

2) В качестве основного показателя, характеризующего потенциальное плодородие почв, взят все тот же гранулометрический состав, являющийся, с одной стороны, базовым, консервативным свойством почвы, с другой стороны, при помощи известных в почвоведении методов *легко определяемым в полевых условиях* и соответствующим конкретному ТЛУ.

3) Сохранена *простота* в практическом использовании. Указания в предлагаемой классификации промежуточных ТЛУ и характеризующих многочленность почвенного профиля, не усложняют классификацию, а лишь подчеркивают разнообразие

лесорастительных условий, что на практике очень важно учитывать при выборе тех или иных лесохозяйственных мероприятий.

Проведение картирования лесорастительных условий и нанесение их контуров на планы лесонасаждений должно быть обязательным условием для всех лесных предприятий и является фундаментальной основой для проектирования в лесах всех хозяйственных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА:

- Газизуллин А.Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья. Т 2: Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства: Научное издание. – Казань: РИЦ «Школа», 2005. – 496 с.
- Газизуллин А.Х. Почвоведение. Общее учение о почве: учеб. пособие. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 484 с.
- Побединский А.В., Основы лесного законодательства и задачи лесоводства / А.В. Побединский // – Лесное хозяйство. 1979. №5. С.16-21.
- Погребняк П.С. Основы лесной типологии. – Киев: Изд-во АН УССР, 1955. – 452 с.
- Порфирьев В.С. Хвойно-широколиственные леса Волжско-Камского края / В.С. Порфирьев // Доклад-обобщение опубликованных работ, представляемых к защите на соиск. уч. степени докт. биол. наук (Ботаника – 03.094). – Л., 1970.
- Пуряев А.С. Защитные лесные насаждения Республики Татарстан и почвенно-экологические условия их произрастания / А.С. Пуряев, А.Х. Газизуллин. – Казань: Казан. ун-т, 2011. – 176 с.
- Шейн Е.В. Курс физики почв.: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОДЗОЛАХ ОБЬ-ПУРОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

И.Н. СЕМЕНКОВ

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

В таежных ландшафтах Западной Сибири, испытывающих антропогенное воздействие в связи с нефтедобычей, геохимия подзолов, не представляющих серьезного интереса для сельского хозяйства, остается слабо изученной. Несмотря на длительное и плодотворное исследование геохимии почв фоновых таежных ландшафтов (Этюды..., 1977; Нечаева, 1985; Московченко, 1998; Опекунова и др., 2019; Семенов и др., 2019), до сих пор отсутствуют данные о соотношении подвижных форм тяжелых металлов (ТМ), в том числе Ва, Со, Сг, Си, Мп, Ni, Рb, V и Zn – компонентов приоритетных загрязняющих веществ Западной Сибири (Mueller et al., 2016), хотя по суглинистым почвам подобного рода работы проведены в разных частях региона (Московченко, Бабушкин, 2015; Семенов и др., 2019).

Цель работы – анализ уровней содержания и соотношения форм ТМ в подзолах Обь-Пуровского междуречья.

Полевые работы проведены в 5 км к северо-востоку от г. Ноябрьска в пределах

вытянутой, пологой наклонной песчаной гряды высотой 0,5 м, покрытой бором на подзолах. На хорошо дренированном междуречье под соснами высотой 10 м произрастают *Pleurosium Shreberi*, *Polytrichum* sp., *Cladonia* sp., брусника, шикша, черника, багульник и единично карликовая береза. На склонах, где неглубоко залегают грунтовые воды, снижается высота древостоя и возрастает проективное покрытие кустарничков – карликовой березы, голубики и багульника. У подножия гряды, в краевой зоне болота, высота сосен составляет всего 3 м. В подлеске присутствуют те же виды, что на междуречье и склонах, но появляются гигрофиты: осоки, подбел, сфагнум, единично – мирт болотный и вахта трехлистная.

На поверхности междуречных подзолов находится сплошной ферментированный хвойно-ветошный опад с небольшим количеством листового. Под ним располагается маломощная (до 0,5 см) прослойка гумусированного материала 2,5Y 4/1 со следами пирогенного воздействия в виде очень мелких угольков, резко сменяющаяся неоднородным по окраске прослоем, состоящего из двух морфонов фитотурбированных (Истигичев, 2017) горизонтов E и BF. Бесструктурный белесый 10YR 8/1 горизонт E сменяется охристым 5YR 6/8 BF со слабо выраженной призматической структурой. Со 100–107 см следует белёсовато-светло-серая 2,5Y 7/2 почвообразующая порода, содержащая в небольшом количестве обломки кремнистых валунов диаметром до 10 см.

У подножия склона гряды под разреженным сосняком, в краевой зоне болота, вскрыта торфяная олиготрофная почва по подзолу с торфяным прослоем мощностью 50 см. В более влажных условиях под клюквенно-морозово-голубично-сфагновым болотом с сосной находятся торфяные олиготрофные почвы по подбурам с более мощной (60–70 см) торфяной толщей. Отсутствие горизонта E в почвах пониженных элементов рельефа, вероятно, обусловлено большим количеством органо-минеральных соединений, аккумулирующихся на латеральном геохимическом барьере в краевой зоне болота. Темно-бурый 2,5YR 2,5/2 во влажном состоянии сфагновый торф средней степени разложения, светлеющий при отжатии воды до 10YR 3/3, сменяется черной 2,5/N торфяно-перегнойной, мажущей массой. Ниже находится серовато-белёсый 2,5Y 2,5/1 горизонт E мощностью до 10 см, постепенно переходящий в черновато-кофейный 2,5YR 2,5/2 плотный горизонт BH, выступающий в роли водоупора. Оглееная почвообразующая порода вскрыта на глубине 150 см.

Методы исследования. В 80 образцах почв из 8 разрезов определены величина рН в суспензии при постоянном помешивании (соотношение почва: раствор 1:2,5) потенциометрически; содержание углерода органических веществ титриметрически с фенилантраниловой кислотой по И.В. Тюрину (в торфах и подстилках – по потерям при прокаливании); гранулометрический состав дифрактометрически в образцах, растертых

пестиком с резиновым наконечником и обработанных 4% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Подвижные формы тяжелых металлов извлечены тремя параллельными вытяжками путем настаивания в течение суток по общепринятой методике (Соловьев, 1989):

-обменные – ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8, соотношение почва: раствор 1:5, увеличенное до 1:20 в образцах органогенных горизонтов и подстилке;

-комплексные – ацетатно-аммонийным буфером с 1% ЭДТА, соотношение почва: раствор 1:5, увеличенное до 1:20 в образцах органогенных горизонтов и подстилке;

-непрочно связанные гидроксидами Fe и Mn – 1n азотной кислотой, соотношение почва: раствор 1:10, увеличенное до 1:20 в образцах органогенных горизонтов и подстилке.

Указанные работы проведены в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ с участием П.Р. Енчилик, М.Т. Казинского, А.Д. Иовчевой и Е.Д. Николаева. Формы тяжелых металлов определены масс-спектрометрически (ICP-MS) на приборе «X-7» фирмы «Thermo Elemental» (США) и методом атомно-эмиссионной спектрометрии (ICP-AES) на приборе «iCAP-6500» фирмы «Thermo Scientific», США) в ИПТРМ РАН (г. Черноголовка) под руководством В.К. Карандашева. Валовой элементный состав определен рентген-флуоресцентным методом в ИГЕМ РАН (Москва) А.И. Якушевым на приборе «Axios» фирмы «PANalytical» (Нидерланды) с использованием стандартных российских образцов почв («Дерново-подзолистая» и «Чернозем»).

Результаты и их обсуждение. Средние значения величины pH в горизонтах АУЕ, Е, ВН, ВF и С подзолов варьируют в пределах 4,1–5,3, что соответствует нашим данным 2012 г. по этому же участку (Усачева, Семенков, 2018). Содержание углерода органических веществ уменьшается от 6,3% в АУЕ и до 0,1% в почвообразующей породе. В гранулометрическом составе преобладают песчаные фракции. Валовое содержание элементов уменьшается в ряду (подстрочный индекс слева от черты – в оторфованной прослойке, справа – в почвообразующих песках в мг/кг): $\text{Si}_{344000/416000}$ – $\text{Ca}_{2859/429}$ – $\text{Fe}_{1768/2135}$ – $\text{Al}_{1590/7203}$ – $\text{K}_{660/6680}$ – $\text{P}_{543/44}$ – $\text{Mg}_{464/270}$ – $\text{Mn}_{108/58}$ – $\text{Zn}_{102/<5}$ – $\text{Ti}_{40/930}$ – $\text{Zr}_{262/168}$ – $\text{Na}_{26/1854}$ – $\text{Cu}_{15/<5}$ – $\text{Ni}_{15/<5}$ – $\text{Cr}_{13/15}$ – $\text{Nb}_{9/7}$ – $\text{V}_{5/11}$ – $\text{Sr}_{4/29}$ – $\text{Co}_{<5/<5}$. Среди подвижных соединений непрочно связанные преобладают у Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ba, Cd, Pb. Причем в отличие от суглинистых почв тундры и тайги (Семенков и др., 2016), доля комплексных и непрочно сорбированных соединений близки. Обменные соединения преобладают среди подвижных лишь у Sr, Mo и оторфованных горизонтах – у Mn. В подзолах выявлена очень низкая подвижность всех изученных ТМ, что, вероятно, связано с доминированием трудно растворимых соединений, способных в этих кислых почвах удерживаться на немногочисленных реакционных центрах. В гумусированном прослое подзолов и почвообразующих песках подвижность ТМ

уменьшается в рядах (подстрочный индекс – % подвижных соединений от валового содержания): $(\text{Fe}, \text{Zn})_{12} > (\text{Cu}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Ni})_{5-6}$, Co_3 , V_2 , $\text{Sr}_1 > \text{Ti}_{0,4}$ и $\text{Fe}_{12} > \text{Mn}_{10}$, $\text{Cu}_9 > (\text{Zn}, \text{Co}, \text{V})_4 > \text{Cr}_2 > (\text{Ni}, \text{Sr})_1 > \text{Ti}_{0,4}$.

**Исследование выполнено в рамках проекта № 17-77-20072.*

ЛИТЕРАТУРА:

- Истигечев Г.И., Лойко С.В., Кузьмина Д.М., Крицков И.В., Кулижский С.П. Ветровальные почвенные комплексы в ареале альфегумусовых почв северной тайги Западной Сибири // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 110-летию выдающегося организатора науки и первого директора ИПА СО РАН Романа Викторовича Ковалева. 2017. С. 71–75.
- Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. – Новосибирск: Наука, 1998. – 112 с.
- Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Фоновое содержание подвижных форм металлов в почвах севера Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 3. С. 163–174.
- Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 1985. – 210 с.
- Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422–439.
- Семенков И.Н., Касимов Н.С., Терская Е.В. Латеральная дифференциация форм соединений металлов в почвенных суглинистых катенах центра Западно-Сибирской равнины // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. №3. С. 25–37.
- Семенков И.Н., Касимов Н.С., Терская Е.В. Латеральное распределение форм металлов в тундровых, таежных и лесостепных катенах Восточно-Европейской равнины // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. №3. С. 29–39.
- Соловьев А.Г. Использование комплексных вытяжек для определения доступных форм микроэлементов в почвах // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат. 1989. Вып.5. С. 216 – 227.
- Усачева А.А., Семенков И.Н. Цезий-137 в растениях и почвах таежных и тундровых ландшафтов Западной и Средней Сибири // Геохимия ландшафтов. К 100-летию со дня рождения Александра Ильича Перельмана. 2017. М.: АПР Москва, 2017. С. 496–523.
- Этюды по биогеохимии элементов-биофилов. Новосибирск: Наука, 1977. 101 с.
- Mueller L., Sheudshen A.K., Syso A. et al. Land and water resources of Siberia, their functioning and ecological state // Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia. – Cham; Switzerland: Springer, 2016. – P. 3–73.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ БАССЕЙНА РЕКИ ГУРЬЕВКИ

А.С. УМАНСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Калининградский государственный технический университет

Почвы западной части Калининградской области испытывают интенсивную антропогенную нагрузку (Анциферова, 2008; Уманский, 2018), что обуславливает необходимость получения актуальной информации об их современном экологическом состоянии.

Объектом исследования выбраны бурые лесные почвы бассейна реки Гурьевки, правого притока реки Преголи. Выбор объекта обусловлен близостью к областному центру и,

следовательно, усилившимся за последние 15 лет ростом площадей, отводимых под застройку.

Бурые лесные почвы отмечены на ключевых участках «Новый-1», «Новый-2», «Медведевка», «Гурьевск-1» и «Гурьевск-2» (Уманский, 2018). Почвы данного типа формируются под широколиственными лесами и отличаются кислой реакцией среды (Завалишин, Надеждин, 1961; Вайчис, Шлейнис, 1969; Рябой, 2003; Герасимова, Гаврилова, 2005; Анциферова, 2008).

В настоящее время получены данные по химическим свойствам почв ключевых участков «Новый-1», «Медведевка» и «Гурьевск-1». Ключевые участки «Новый-1» и «Медведевка» заложены на верхней надпойменной террасе речной долины, под лесными фитоценозами с преобладанием липы (*Tilia cordata* L.), граба (*Carpinus betulis* L.), клена остролистного (*Acer platanoides* L.) («Новый-1») и осины (*Populus tremula* L.) («Медведевка»). Ключевой участок «Гурьевск-1», также заложённый под лесным фитоценозом сходным по ботаническому составу с ключевым участком «Новый-1», представляет собой геохимическую катену, охватывающую склон речной долины. Ключевые участки «Гурьевск-2» и «Новый-2», заложённые под луговой растительностью с преобладанием ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), мятлика обыкновенного (*Poa pratense* L.), тимофеевки полевой (*Phleum pratense* L.), при участии люпина (*Lupinus polyphyllus* Lindl) и золотарника (*Solidago canadensis* L.) в данной статье не рассматриваются по причине незавершенности сбора данных.

Морфологическое строение профиля типично для бурых лесных почв Калининградской области : A₀-A₁-AB-B₁-B₂(g)-BC(g)-Cg, в одном из разрезов также был выделен горизонт B₃. Мощность гумусового горизонта в почвах лесных фитоценозов составляет от 8 до 11 см. В нижних горизонтах почв ключевых участков «Гурьевск-1» и «Новый-1» отмечено наличие мергеля.

В почвах участка «Медведевка» наблюдается снижение значений pH, гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований вниз по профилю. Так, в горизонте A₁ отмечена нейтральная реакция среды (pH 6,25), тогда как в горизонтах B₂ и BC значения pH равны соответственно 5.05 и 5.06. Значения гидролитической кислотности снижаются соответственно с 6.71 до 4.73 ммоль/100 г, а значения суммы поглощенных оснований с 4,76 до 1,92 ммоль/100 г. Таким образом, степень насыщенности основаниями вниз по профилю снижается на 12 % - с 40.86 до 28.87%. Также отмечено снижение содержания обменного калия со 100 до 47 мг/кг. В то же время значения содержания подвижного фосфора (P₂O₅ по

Кирсанову) изменяется волнообразно, достигая максимума (625 мг/кг) в горизонте В₂, тогда как в горизонте АВ содержание Р₂О₅ составляет 258 мг/кг, а в горизонте ВС — 113 мг/кг.

Почвы ключевого участка «Новый-1» отличаются большой неоднородностью химических свойств. В гумусовых горизонтах 5 разрезов, заложенных в пределах одного участка леса, площадью 1 га, со средним шагом 30 м (от 17 до 42 м) значения рН колебались от 3.98 до 5.86. В переходных к почвообразующей породе горизонтах наблюдалась как кислая (рН 4,45), так и близкая к слабощелочной (рН 7.17) реакция среды, что, по всей видимости, обусловлено пестротой почвообразующих пород, поскольку включения мергеля не были отмечены в двух профилях с кислой реакцией среды. Содержание фосфора в верхних горизонтах составляет 75-79 мг/кг, значение же содержания калия изменяется в широких пределах — от 14 до 329 мг/кг.

В почвах ключевого участка «Гурьевск-1» значения обменной кислотности сходны с аналогичными показателями в почвах участка «Новый-1» - кислая реакция в верхних горизонтах сменяется нейтральной в горизонтах В₁ или АВ. Однако в разрезе № 14, заложенном на нижней трети склона, отмечена нейтральная реакция в горизонтах А₁ и АВ (рН 7.18 и 6.68), сменяющаяся в горизонте В₁ на слабокислую (рН 5.45).

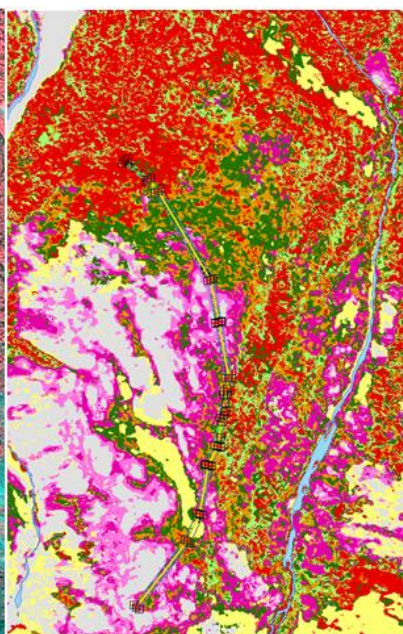
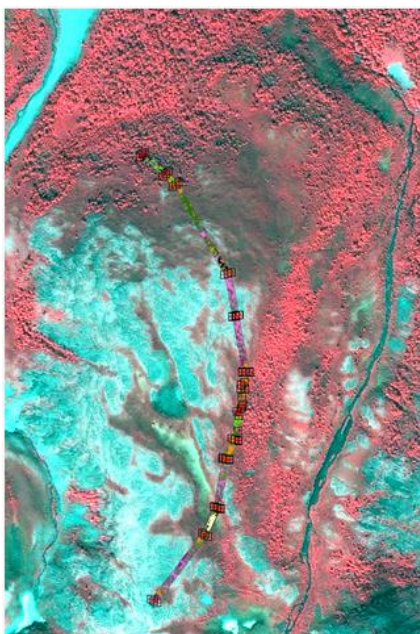
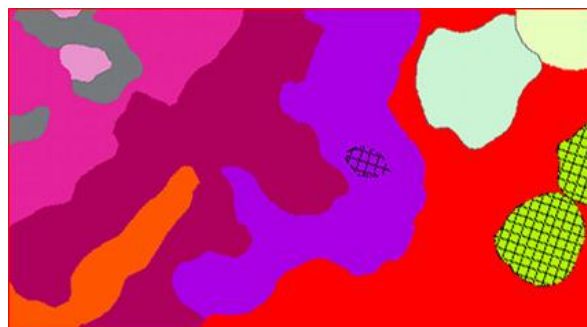
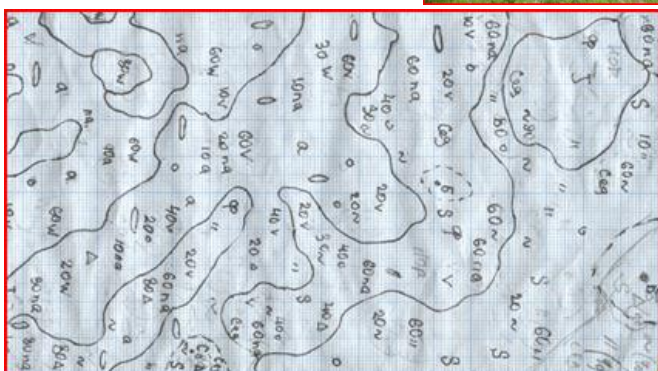
Следует отметить, что почвы, диагностированные как бурые лесные, но сформировавшиеся на карбонатных моренных породах, отмечались на территории Калининградской области и ранее (Уманский, 2010).

Таким образом, наличие мергеля в почвообразующих породах и обусловленная его присутствием щелочная реакция среды, нетипичная для бурых лесных почв Калининградской области, позволяет поставить вопрос о необходимости дальнейших исследований и уточнении классификационной принадлежности данных почв.

ЛИТЕРАТУРА:

- Анциферова О.А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Ч. I. Факторы почвообразования. Почвы подзолистого и буроземного рядов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2008. 397 с.
- Вайчис М.В., Шлейнис Р.И. Почвы Литовской ССР и Калининградской области. Характеристика объектов экскурсии 18–25 августа 1969 г. – Каунас: Минтис, 1969. С.50-63.
- Герасимова М.И., Гаврилова И.П. Автономные суглинистые почвы центральной части Калининградской области: проблемы генезиса// Почвоведение, 2005, №1. С.5-15.
- Завалишин А.А., Надеждин Б.В. Почвенный покров Калининградской области // Почвы Калининградской области. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 3–150.
- Рябой В.Е. Распределение тяжелых металлов в бурых почвах холмисто-моренных агроэкосистем // Вопросы сельского хозяйства. – Калининград, КГТУ, 2003. С. 46 — 56.
- Уманский А.С. Почвообразование на карбонатных породах в условиях Калининградской области// Генезис, география, классификация почв и оценка почвенных ресурсов. Материалы Всероссийской научной конференции. - Архангельск, КИРА, 2010. С.63-66.
- Уманский А.С. Бурые лесные почвы бассейна реки Гурьевки // Балтийский морской форум: Материалы VI международного Балтийского морского форума 3-6 сентября 2018 года : в 6 томах — Т.1. — Калининград, Изд-во БГА ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2018. С.323-328.

СЕКЦИЯ 8. Картографирование лесных почв



ПОЧВЫ ТАЕЖНЫХ И ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА НОВОЙ ПОЧВЕННОЙ КАРТЕ РОССИИ МАСШТАБА 1:2.5 МЛН

Т.В. АНАНКО¹, Д.Е. КОНЮШКОВ¹, М.И. ГЕРАСИМОВА^{1,2}, В.И. РОСЛИКОВА³

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

³Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

Первый этап создания новой цифровой Почвенной карты России – по-контурная проверка и обновление содержания Почвенной карты РСФСР (ПКРФ) масштаба 1:2.5 млн (1988) с переводом названий почв в систему классификации почв России (КПР, 2004/2008). Субстантивная диагностика почв основана на материалах Программы карты (1972), монографии "Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации" (2001) и региональных источниках. Одним из объектов, вызвавших ряд затруднений, были почвы с бурым недифференцированным профилем строения 0(A0)–A1–Bm(fh)–C, широко распространенные на Дальнем Востоке (ДВ) в пределах Амурской области, Хабаровского и Приморского краев. Часть таких почв приурочена к кедровой пихтово-еловым или елово-лиственничным и лиственничным лесам и в легенде названа «буро-таежными» с разделением на грубогумусовые и грубогумусовые иллювиально-гумусовые; другие почвы под кедрово-дубовыми и дубовыми лесами названы «бурными лесными кислыми» и «бурными лесными слабо ненасыщенными». В качестве синонимов в обоих случаях дается термин «бурозем», а различия между почвами отражаются зональными названиями – таежные и лесные.

В Программе карты (1972) буро-таежные почвы представлены одной единицей – буро-таежные иллювиально-гумусовые (профиль 0(A0)–A1–Bm fh–C). От бурых лесных почв (хвойно)широколиственных лесов (профиль 01–A0–A1–Bm–BmC–C) они отличаются характером срединного горизонта, сочетающего признаки метаморфизма и альфегумусового процесса. Однако в легенде ПКРФ для части буро-таежных почв (буроземов грубогумусовых) иллювиирование гумуса не указано в их названии и не отмечено в свойствах, что в значительной степени нивелировало различия этих двух экологически разных групп почв с рядом общих черт в строении профиля.

В КПР диагностика почв осуществляется по их свойствам, отраженным в наборе диагностических горизонтов и признаков. Рассматриваемые почвы с бурым недифференцированным профилем отнесены к двум отделам: железисто-метаморфических почв с одноименным диагностическим горизонтом BFM – *ржавоземы* и структурно-метаморфических почв с соответствующим диагностическим горизонтом BM – *буроземы*. Ржавоземы и буроземы различаются по свойствам срединных горизонтов. Однако их

морфологические признаки, указанные в КПП, – цвет (бурый, желто-бурый, охристый в ржавоземах и тускло-бурый в буроземах), структура (слабо выраженная, комковатая в ржавоземах и ореховато-комковатая в буроземах) и гранулометрический состав (в ржавоземах – щебнистый супесчано-суглинистый или песчаный, в буроземах – слабо щебнистый суглинисто-глинистый) – близки, частично «перекрываются». Другие свойства этих почв – кислая и слабокислая реакция, ненасыщенность основаниями, слабая дифференциация по профилю илистой фракции и валового состава, фракционный состав гумуса – также отличаются незначительно (Классификация..., 2004). Это затрудняет определение классификационного положения рассматриваемых почв по КПП. Вместе с тем они занимают разные экологические ниши, лишь частично совпадая. Ареал ржавоземов – средняя, южная тайга и хвойно-широколиственные леса, буроземов – хвойно-широколиственные и широколиственные леса (Классификация..., 2004).

Для таежных бурых недифференцированных почв на севере ареала характерны мощные подстилки (8–15 см), часто с перегнойным подгоризонтом Oh (или горизонтом H); на юге под темнохвойными лесами мощность подстилок уменьшается, но появляются гумусовые горизонты с содержанием органического вещества от 13.9 до 23.3% (Иванов, 1976), что значительно превышает критерии для серогумусовых горизонтов АУ и объясняется присутствием органической массы, часто утратившей формы исходных растительных остатков; они определяются по КПП как перегнойно-гумусовые АН или грубогумусовые АО горизонты. Под светлохвойными лесами, преобладающими на севере ареала, содержание гумуса в гумусово-аккумулятивных горизонтах составляет 5–15%; по совокупности свойств они относятся к грубогумусовым (АО) или серогумусовым (АУ). Органогенно-гумусовые горизонты сочетаются с метаморфическими иллювиально-гумусированными горизонтами BFMhi. Иллювиирование органо-минеральных соединений диагностируется в метаморфических горизонтах по наличию характерных Al-Fe-гумусовых пленок на нижних гранях щебня и структурных отдельностей, высокому содержанию в них гумуса с преобладанием кислых агрессивных фульвокислот и гуминовых кислот, связанных с полуторными окислами. Мелкозем преимущественно суглинистый. Анализ доступных материалов показывает, что в условиях гумидного климата Al-Fe-гумусовая миграция является характерным процессом в буро-таежных почвах ДВ, что отмечалось и ранее (Иванов, 1976; Грачева, Таргульян, 1978; Шапиро, 1985). Это дает основание выделить буро-таежные почвы на новой карте как *ржавоземы перегнойно-гумусовые, грубогумусовые* или *типичные иллювиально-гумусированные*.

Бурые лесные почвы (хвойно)широколиственных лесов ДВ имеют иной органофиль: подстилки в них маломощные (1–3 см), перегнойные горизонты отсутствуют, гумусовые горизонты по совокупности признаков относятся к темногумусовым (слабокислые или нейтральные насыщенные), реже к серогумусовым (кислые ненасыщенные) (Иванов, 1976; Росликова и др, 2010). Почвенные растворы, поступающие в профиль из подстилок, большая часть которых состоит из листьев широколиственных пород, содержат органо-минеральные подвижные соединения в очень малых объемах (Ананко, 1992), поэтому иллювиально-гумусовый процесс для них не характерен. Содержание гумуса резко падает в метаморфических горизонтах, гранулометрический состав мелкозема суглинистый или глинистый. По диагностическим свойствам и экологической приуроченности эти почвы относятся к буроземам. Однако для буроземов характерна отчетливая педогенная комковатая или ореховато-комковатая структура горизонта ВМ, а в рассматриваемых почвах она не всегда четко выражена и описывается как комковато-порошистая или порошистая (Иванов, 1976). Содержание гумуса в верхнем горизонте может достигать 13–17% за счет мелкого детрита. Отмеченные свойства бурых лесных почв Дальнего Востока, связанные с региональными биоклиматическими и литологическими особенностями этого региона, позволяют выделить сложные подтипы *буроземов типичных (серогумусовых)* или *буроземов темных, включая грубогумусированные* с ослабленными признаками структурного метаморфизма. Кроме того, на легких супесчано-песчаных или легкосуглинисто-супесчаных древнеаллювиальных отложениях (последние являются двучленами: до глубины 30 см – легкие суглинки, ниже – супеси) под хвойно-широколиственными и широколиственными лесами описаны почвы (Иванов, 1976; Росликова и др, 2010), которые по совокупности свойств относятся к ржавоземам.

Ржавоземы и буроземы ДВ на дренированных горных склонах не испытывают длительного переувлажнения, а также проявлений криогенных процессов несмотря на глубокое промерзание. При ослаблении дренированности рельефа (плоские водоразделы, подножья, вогнутые части склонов) в них появляются признаки оподзоливания, а при более длительном гидроморфизме в условиях равнинного рельефа на тяжелых суглинках и глинах – оглеения. В докладе анализируются связи между разнообразием почв и лесной растительности.

ЛИТЕРАТУРА

- Ананко Т.В. Основные закономерности изменения химического состава лизиметрических вод в вертикальном ряду почв хр. Тукурингра // Генезис, география и эволюция почв, М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1992. С. 60–70.
- Грачева Р.Г., Таргульян В.О. Макрои мезоморфологическая диагностика почв и элементарных почвообразовательных процессов в ряду «бурозем-подбур» // Почвообразование и выветривание в гумидных ландшафтах. М.: Наука, 1978. С. 103–121.

- Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 197 с.
- Классификация и диагностика почв России, Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Почвенная карта РСФСР м. 2,5 млн. под ред. В.М. Фридланда, М.: ГУГК, 1988. 16 листов.
- Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2001. 399 с.
- Программа Почвенной карты РСФСР под ред. В.М. Фридланда, М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1972. 158 с.
- Росликова В.И., Рыбачук Н.А., Короткий А.М. Атлас почв юга Дальнего Востока России (Приханкайская низменность). Владивосток: Дальнаука, 2010, 246 с.
- Шапиро М.Б. Структура почвенного покрова средневысотных горных хребтов центрального участка зоны БАМ (на примере восточной части хребта Тукурингра). Автореф. канд. (геогр.) дисс. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1985, 24 с.

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И УГЛЕРОДА В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Е.А. ГАВРИЛЮК, А.И. КУЗНЕЦОВА, А.В. ГОРНОВ

ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

В работе приводятся результаты пространственного моделирования показателей соотношения, концентрации и запасов азота и углерода в лесной подстилке на основе разносезонных мультиспектральных спутниковых изображений Sentinel-2 и базовых топографических характеристик местности.

Лесная подстилка, являясь продуктом функционирования лесных биогеоценозов, регулирует широкий спектр экосистемных процессов. Показатели содержание углерода (С) и азота (N), а также их соотношение (CN), являются индикаторами качества опада и процессов минерализации лесных почв, которые, в свою очередь, определяют продуктивность лесонасаждений. Также эти параметры характеризуют способности лесных экосистем к связыванию С и N, в частности, в пулах подстилки, что приобретает особую актуальность в связи с современными глобальными климатическими процессами. Соотношение CN в лесной подстилке зависит, в первую очередь, от породного состава насаждений, а также, в меньшей степени, от хозяйственной деятельности человека и ряда абиотических факторов, таких как климат, рельеф, тип почвы и материнской породы (Carré et al., 2010).

Целью нашей работы было исследование возможностей пространственной оценки значений концентрации С и N, их соотношения и запасов в двух подгоризонтах лесной подстилки – L (свежий или слаборазложившийся опад) и FH (слой ферментации и разложение растительных остатков) с использованием спектральных и топографических переменных в качестве основы для регрессионного моделирования.

Исследование проводилось на территории Государственного природного биосферного заповедника «Брянский лес», расположенного в юго-восточной части Брянской области. В 2016-2017 годах здесь было заложено 33 наземных пробных площади, на каждой из которых в троекратной повторности производился отбор лесной подстилки с использованием рамки размером 25×25 см. При планировании мест закладки пробных площадей учитывался породный состав насаждений, оценённый по спутниковым данным (Гаврилюк и др., 2018) и материалам лесоустройства заповедника 2006 года. В лабораторных условиях отобранные образцы высушивали до абсолютно-сухого состояния, взвешивали и оценивали содержание углерода и азота на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O). При расчете запасов углерода пользовались методическими указаниями по количественному определению объема поглощения парниковых газов (Распоряжение....., 2017).

Исходный набор спутниковых данных для моделирования состоял из шести мультиспектральных разносезонных безоблачных композитных изображений Sentinel-2 (ESA Sentinel-2, 2019), сформированных средствами программной платформы Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) из сцен с уровнем обработки L1C за период с 2016 по 2018 год. Базовые топографические характеристики местности – абсолютная высота и производные от нее крутизна, ориентация (Travis et al., 1975) и кривизна (Shary, 1995) склонов, а также топографический индекс влажности (Beven, Kirkby, 1979) были получены из цифровой модели рельефа, сформированной по результатам оцифровки горизонталей крупномасштабной топографической карты. Также мы использовали координаты положения пикселей в качестве дополнительных независимых переменных в модели. Все исходные данные были приведены к единому пространственному разрешению 10 метров/пиксель.

Мы использовали случайные леса (Breiman, 2001) для построения регрессионных моделей, а также весь сопутствующий им комплекс методов для автоматического подбора параметров алгоритма, оценки информативности переменных и точности полученных результатов, реализованный в программной среде R в пакетах *caret* (Kuhn, 2019) и *ranger* (Wright, Ziegler, 2017). Измерения с пробных площадей сопоставлялись со значениями пикселей спутникового изображения в радиусе 10 метров от точки заложения (т.е. в окне 3×3 пикселя). Полученные в результате регрессионного моделирования величины дополнительно корректировались с помощью метода повторных медиан (Siegel, 1982), с целью компенсации характерного для случайных лесов эффекта занижения высоких и завышения низких значений.

По результатам регрессионного анализа нами были получен ряд моделей для оценки значений концентрации C и N, их отношения CN, а также их запасов в подгоризонтах L и FH

лесной подстилки. Наилучшие (по формальным критериям) модели были получены для отношения CN – коэффициент детерминации $R^2 = 0,83$ при среднеквадратической ошибке $RMSE = 9,6\%$ от среднего для подгоризонта L, и $R^2 = 0,94$ при $RMSE = 8,7\%$ для подгоризонта FH. Для показателя концентрации N аналогичные показатели моделей составили $R^2 = 0,69$ при $RMSE = 10,8\%$ для подгоризонта L, и $R^2 = 0,78$ при $RMSE = 11,8\%$ для подгоризонта FH. Для остальных показателей коэффициент детерминации варьирует от 0,31 до 0,56, а среднеквадратические ошибки от 5 до 47%.

С использованием полученных моделей нами были построен ряд тематических карт на территорию заповедника «Брянский лес» и его окрестностей, отображающих пространственную вариабельность содержания C и N в двух подгоризонтах лесной подстилки с пространственным разрешением 10 метров. В дальнейшем, для более надежной оценки точности полученных результатов и перспектив применения подобного моделирования, планируется проведение дополнительных полевых обследований с целью формирования достаточно представительной контрольной выборки.

**Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 15-29-02697 «Выявление роли экосистемных инженеров и биоразнообразия в функционировании лесов на основе синтеза наземных и спутниковых данных» (полевые работы) и ГЗ ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052400130-7 «Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем» (тематическая обработка данных).*

ЛИТЕРАТУРА

- Гаврилюк Е.А., Горнов А.В., Ершов Д.В. Оценка пространственного распределения видов деревьев заповедника «Брянский лес» и его охранной зоны на основе разносезонных спутниковых данных Landsat // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2018. № 3(15). С. 13–23.
- Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июня 2017 г. N 20-р «О методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71612096/> (дата обращения 01.07.2018).
- Beven K.J., Kirkby M.J. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology // Hydrology Science Bulletin. 1979. Vol. 24. № 1. P. 43–69.
- Breiman L. Random forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45. № 1. P. 5–32.
- Carré F., Jeannée N., Casalegno S., Lemarchand O., Reuter H.I., Montanarella L. Mapping the CN Ratio of the Forest Litters in Europe – Lessons for Global Digital Soil Mapping, In Digital Soil Mapping, Progress in Soil Science 2, Boettinger J.L. et al. (eds.), Springer Science+Business Media B.V., 2010, pp. 217–225.
- ESA Sentinel-2 [Электронный ресурс]. URL: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 (дата обращения 12.03.2019).
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18–27.
- Kuhn M. caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-84. [Электронный ресурс]. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=caret> (дата обращения 12.07.2019).
- Shary P.A. Land surface in gravity points classification by complete system of curvatures // Mathematical Geology. 1995. Vol. 27. № 3. P. 373–390.
- Siegel A.F. Robust Regression Using Repeated Medians. Biometrika. 1982. Vol. 69. №1. P. 242–244.
- Travis M.R., Elsner G.H., Iverson W.D., Johnson C.G. VIEWIT: computation of seen areas, slope, and aspect for land-use planning. / Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-11. Berkeley, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 1975. 70 p.
- Wright M.N., Ziegler A. ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R // Journal of Statistical Software. 2017. Vol. 77. №1. P. 1-17. doi:10.18637/jss.v077.i01

СОСТАВ И СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕГО УРАЛА НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ВИСИМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Ф.Г. ГАФУРОВ^{1,2}, И.Н. КОРКИНА¹

¹ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН, г.Екатеринбург

²ФГБУ Висимский государственный природный биосферный заповедник, г.Кировград

Занимая немногим более 1% площади России, Свердловская область имеет около 6% ее нарушенных земель. Удельная нагрузка техногенных нарушений в области более чем в 50 раз выше, чем в среднем по России. Полностью оценить масштабы и последствия этих негативных процессов на сегодня не представляется возможным в силу отсутствия полноценной информации о составе и структуре почвенного покрова (СПП) территории области. Около 70% территории области до сих пор ни разу не было охвачено почвенной съемкой. Практически никогда не проводились крупномасштабные почвенные съемки в горной части области. Удобным объектом для изучения состава и СПП служат территории заповедников, где представлены ненарушенные или слабо нарушенные почвы. Кроме того, учитывая огромное значение ООПТ для сохранения природного почвенного разнообразия, для заповедных территорий необходима детальная информация о существующем разнообразии естественных почвенных разностей и структур почвенного покрова, которые могут служить репрезентативными эталонами ненарушенных почв.

Изучение почвенного покрова и составление почвенной карты М1:25000 проводилось на территории восточной части Висимского государственного природного биосферного заповедника, который располагается в пределах низкогорной части Среднего Урала (Свердловская область). Рельеф восточной части заповедника имеет горный характер с абсолютными высотами от 550 до 700 м н.у.м. и перепадом высот 250-300 м, а западной части — низкогорно-увалистый с мягкими очертаниями коротких хребтов и увалов. На территории заповедника представлены южнотаежные умеренно-бореальные темнохвойные леса (нижний подпояс горно-таежного пояса, преимущественно пихто-ельники зеленомошные и мелкотравные), а так же неморальные и субнеморальные леса (верхний подпояс, пихтово-еловые леса с липой, пихто-ельники крупнопоротниковые и высокотравные). Первобытные пихто-ельники сохранились на небольших участках, преобладают производные мелколиственно-хвойные леса на разных этапах восстановления. В нижнем подпоясе в речных долинах и межгорных депрессиях выделяется полоса хвоцевых и хвоцево-сфагновых еловых, кедрово-еловых и елово-березовых лесов.

Установлено, что горные лесные бурые типичные (буроземы, Skeletic Cambisols в соответствии с WRB-2014) и редко горные лесные бурые оподзоленные почвы встречаются ближе к вершинам и на вершинах увалов выше высотных отметок 450-470 м н.у.м. на среднеюрских и нижнеолигоценовых поверхностях выравнивания. На этих высотных уровнях рисунок структуры почвенного покрова типично горный, сформированный в виде колец вокруг горных вершин, почвы сильно скелетные-средней тяжелосуглинистые. На выровненных горных террасах, где сохранились небольшие участки более древней позднемезозойской коры выветривания, мелкими пятнами встречаются дерново-подзолистые почвы в контурах горных лесных бурых почв.

На сильно щебнистом элюво-делювии плотных силикатных пород каменистых вершин и на крутых, прилегающих к вершинам, участках склонов, на курумах и вблизи них описаны литоземы грубогумусовые (Lithic&Skeletal Leptosols), занимающие небольшие площади в пределах контуров горных лесных бурых почв.

На середине склонов, между высотными отметками 470-450м встречаются горные лесные бурые почвы с признаками оподзоливания (буроземы оподзоленные). Это почвы переходного генезиса к горным дерново-подзолистым почвам и приурочены к бывшему гольцовому поясу нижнеолигоценового генезиса. В пределах этих высотных отметок горные лесные бурые оподзоленные и горные дерново-подзолистые почвы образуют склоновые массивы, высотноразделенные, но чаще их ареалы пересекаются, образуя сложные структуры древовидного облика, которые повторяют рисунок мезорельефа склона. Древовидный разреженный рисунок СПП склонов горных массивов Долгая, Большой и Малый Сутук, Липовая обязан, прежде всего, историческому прошлому формирования склонов.

Ниже пояса распространения горных лесных бурых почв располагается выраженный высотный пояс горных дерново-подзолистых (Albic Retisols) в различной степени оподзоленных, часто короткопрофильных, каменистых и нередко глееватых почв (Stagnic Retisols). Горные дерново-подзолистые почвы сформировались на переотложенных выщелоченных плейстоценовых отложениях, а на обнажениях, покрытых более современным материалом, на покатых участках сформированы буроземы оподзоленные.

На перегибах склона, представляющих собой нагорные террасы, происходит аккумуляция органического вещества, вследствие чего развиваются серогумусовые почвы (Skeletal Cambic Umbrisols), а на увлажненных участках нагорных террас и неглубоких седловин — перегнойно-темногумусовые почвы (Folic Umbrisols).

В северной выположенной части заповедника распространены дерново-подзолистые типичные и глееватые почвы. На всех высотных отметках в ландшафтах с затрудненным

дренажем в профилях почв отмечены проявления в различной степени глеевого гидроморфизма или даже торфонакопления. На слабодренированных нижних очень пологих частях склонов, в долинах рек образуются комбинации дерново-подзолистых глееватых и глеевых, торфянисто-глеевых (торфяно-глееземы по КиДПР-2004, Histic Gleysols), дерново-глеевых (темногумусово-глеевые, перегнойно-гумусовые глеевые, Umbric Gleysols) и дерново-глееватых почв. Пойма реки Сулем и слабовыраженные поймы ее притоков в низовьях их течений заняты преимущественно аллювиальными дерновыми глеевыми почвами, редко их глееватыми аналогами. На участках поймы р. Сулем с сильно затрудненным дренажом на притеррасных понижениях и старых руслах развиты болотные торфяные (Rheic Fibric&Hemic Histosols), торфянисто торфяно-глеевые почвы (торфяно-глееземы, Histic Gleysols).

Таким образом, наиболее характерной особенностью структуры почвенного покрова горных систем в центральной части Среднего Урала являются сочетания–мозаики горных бурых лесных почв с горными дерново-подзолистыми почвами. Такие сочетания-мозаики сформировались благодаря неоднородности почвообразующих пород.

Описывая морфоструктуру горных массивов Среднего Урала, следует отметить 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. По составу почвенного покрова восточные и западные склоны малоразличимы, но по СПП имеются значительные отличия. Из-за большей крутизны восточных склонов их рисунок СПП более сжатый и укороченный, а на западных склонах более разреженный и растянутый. Характер почвенного покрова верхних поясов восточных склонов часто осложнен моренами и выходами на дневную поверхность скальных обнажений. Такой рисунок СПП исследуемой территории позволяет говорить об асимметрии характерных для горных территорий кольцевых структур. Нижние пояса гор Среднего Урала представлены типичными сочетаниями-мозаиками горных бурых лесных почв с горными дерново-подзолистыми почвами. Почвы предгорий аналогичны зональным почвам прилегающих равнин.

По сходству и различиям морфоскульптур горных систем исследуемой части Среднего Урала и связанных с ними геологических структур на территории Висимского заповедника можно выделить четыре вида морфоструктур земной поверхности района, на которых сформировались четыре разных почвенных района, отличающиеся составом и СПП: 1) Сутукский (Восточный) низкогорный почвенный район (исследован в настоящей работе); 2)

Центральный холмисто-увалистый почвенный район; 3) Западный равнинный почвенный район; 4) Сулемский пойменно-террасный почвенный район.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННОГО, СУБСТАНТИВНОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПЕДРАЗНООБРАЗИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.Л. ГОЛОВАНОВ^{1,2}, А.С. СОРОКИН¹, П.В.КРАСИЛЬНИКОВ¹, Н.В.АГАДЖАНОВА¹,
Ю.А. ГОЛОВЛЕВА¹, В.А. СИДОРОВА³

¹ Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова

² Почвенный институт им. В.В. Докучаева

³ Институт биологии Карельского научного центра РАН

Для изучения и характеристики педоразнообразия почвенного покрова серых лесных почв был выбран ключевой участок, удовлетворяющий следующим условиям: 1) экотонное положение на границе дерново-подзолистых и серых лесных почв, обеспечивающее максимальное почвенное разнообразие; 2) достаточно высокая степень изученности объекта; 3) участок, не вовлеченный в сельскохозяйственное использование; 4) относительно сохранившиеся широколиственные леса или однородный контур мелколиственных лесов с широколиственным напочвенным покровом – широколиственные леса на стадии восстановления; 5) отсутствие окон разновозрастных вырубок и посадок хвойных лесов на месте лиственных; 6) приводораздельное положение участка. Большинству из этих требований удовлетворял ключевой участок – «Сосновка», так называемый Озерский стационар Почвенного института имени В.В. Докучаева, на котором проводили исследования известные специалисты по изучению почвенного покрова как Н.П. Сорокина, Д.Н. Дурманов и многие другие. Ранее здесь изучалась неоднородность почвенного покрова преимущественно сельскохозяйственных угодий. Пестроте и контрастности почвенного покрова залесенных участков уделялось меньше внимания.

Исследования проводились при организационной поддержке руководства Почвенного института имени В.В. Докучаева, прежде всего – директора, академика А.Л. Иванова.

Объект исследования расположен к югу от реки Оки, на северных склонах Среднерусской возвышенности, в Заокской физико-географической провинции, которая входит в подзону широколиственных лесов и орошается притоками Оки (Осетром и др.).

Коренной фундамент приподнят и перекрыт известняками карбона, выходящими на поверхность в долинах крупных рек, а также юрскими глинами, неогеновыми и меловыми

песками. Значительное влияние на формирование рельефа провинции оказало днепровское оледенение, вследствие которого сформировались моренные, моренно-водноледниковые и водноледниковые равнины. Современный рельеф провинции — пологоволнистая равнина (Заокское эрозионное плато) с хорошо развитой овражно-балочной сетью. Распространены эрозионно-денудационные ландшафты. Структура ландшафтов испытала сильное влияние антропогенного фактора. Провинция хорошо дренирована. Почвы формируются на покровных лёссовидных суглинках над днепровской мореной и водноледниковыми песками и суглинками – светло-серые и серые лесные, дерново-подзолистые. Вследствие высокого плодородия почв территория сильно распаханна, леса приурочены в основном к эрозионной сети; коренных широколиственных лесов почти не осталось. Встречаются широколиственно-мелколиственные и мелколиственные рощи (*Анненская и др. 1997*).

По предварительным данным полевого обследования почвы района исследования представлены дерново-подзолистыми, дерново-подзолистыми со вторым гумусовым горизонтом, серыми лесными, серыми лесными со вторым гумусовым горизонтом и темно-серыми лесными со вторым гумусовым горизонтом. Все почвы данного ландшафта относятся к отделу текстурно-дифференцированных. На территории полигона доминируют серые и темно-серые лесные почвы со вторым гумусовым горизонтом (ВГГ).

Почвы со вторым гумусовым горизонтом.

Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом. Морфологический профиль их отличается от обычных дерново-подзолистых почв наличием под осветленным, оподзоленным горизонтом или непосредственно под горизонтом АУ второго гумусового горизонта (Ah), залегающего на различной глубине (от 14 до 50 см) и выделяющегося своей темной, углисто-черной окраской. Иногда горизонт Ah не образует сплошной полосы, а представлен в виде отдельных серых «облаковидных» пятен. Содержание гумуса в нем, как правило, выше, чем в горизонте Е1, но ниже, чем в горизонте АУ.

Серые лесные со вторым гумусовым горизонтом (ВГГ). Почвы имеют хорошую дифференциацию профиля, который отличается от серых лесных почв наличием в нижней части гумусового горизонта темного второго гумусового горизонта ореховатой структуры (BEh). Содержание гумуса в ВГГ равно или несколько выше, чем в горизонте АУ (AU).

Существуют диаметрально противоположные гипотезы происхождения ВГГ: 1) актуалистическая, которая рассматривает ВГГ как результат иллювиирования гумусовых кислот на границе элювиально-иллювиальной толщ (*Пономарева, Толчельников, 1968 и др.*) и 2) историко-эволюционная, согласно которой ВГГ являются реликтом более раннего темногумусового этапа почвообразования в голоцене (*Драницын, 1914; Петров, 1937;*

Добровольский и др., 1969; Афанасьева, Ремезова, 1974; Уфимцева, 1974; Караваева, 1978; Гаджиев, 1982;). Последняя гипотеза получила наибольшее распространение и была аргументирована серией радиоуглеродных дат ВГГ, среди которых наиболее древние лежат в пределах 7–6 тыс. л. н. (*Добровольский и др., 1969; Толчельников, 1970; Василенко, 1973*).

География почв с ВГГ охватывает обширные пространства смешанных и южно-таежных лесов европейской территории России (*Караваева и др., 1984; Александровский, 1999; Прокашев, 1999, 2012; Макеев, 2012*). В соответствии с теорией Макеева (2012) данные почвы с ВГГ относятся к поверхностным палеопочвам, т.к. их формирование происходило в иных климатических условиях, свидетельством чего являются многочисленные реликтовые признаки и их хорошая сохранность.

В работе использовался широкий спектр методов исследования. Почвенные разрезы закладывались по случайно-регулярной сетке с шагом около 100 метров на площади около 1 км². Всего заложено 93 разреза. Привязка почвенных разрезов осуществлялась с использованием навигатора Garmin. Детальное описание проводилось для опорных почвенных разрезов. В остальных разрезах замерялись мощности почвенных горизонтов, определялся цвет по шкале Манселла, отбирались образцы на влажность объемный вес (плотность), общие анализы. Для выявления размеров ЭПА серых лесных с ВГГ вокруг 2-х опорных разрезов с контрастными почвами (дерново-подзолистыми и серыми лесными с ВГГ), расположенными на расстоянии 100 метров друг от друга были заложены дополнительные разрезы по сетке с шагом 25-35 метров. Это позволило создать детальную почвенную карту с отображением элементарных почвенных ареалов (ЭПА) и оценить **генетическое разнообразие** почвенного покрова (III).

Погоризонтные и послойные карты содержания и запасов гумуса стали базой для оценки субстантивного разнообразия (III).

Вокруг каждого почвенного разреза определялась плотность сложения – сопротивление пенетрации – с использованием пенетролога фирмы Eijkelkamp. Этот показатель наряду с влажностью и объемным весом послужил основой для выявления **функционального разнообразия**.

**Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-17-01293 «Многоуровневые региональные почвенно-географические модели как основа устойчивого управления почвенными ресурсами»*

ЛИТЕРАТУРА:

- Александровский А.Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. – М.: Наука, 1983 – 140 с.
Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. (ред. Добровольский Г.В.) Издательство: ГЕОС, 2010. 178 с.
Гаврилов Д.А. Генезис второго гумусового горизонта почв Васюганской наклонной равнины // Бюллетень Почвенного института. №85, 2016. С.3-19

Ландшафты Московской области и их современное состояние / Г. Н. Анненская, В. К. Жучкова, В. Р. Калинина и др. — Смоленск, 1997. 296 с.

Добровольский Г.В., Афанасьева Т.В., Василенко В.И., Ремезова Г.Л. О генезисе и географии почв Томского Приобья // Почвоведение. 1969а. № 10. С. 3–12.

Драницын Д.А. Вторичные подзолы и перемещение подзолистой зоны на севере Обь-Итышского водораздела // Изв. Докуч. почв. ком. 1914 № 2 С. 1-34.

Макеев А. О. Поверхностные палеопочвы лёссовых водоразделов Русской равнины. — ЗАО "Молнет" Москва, 2012. — 300 с.

Петров Б.Ф. К вопросу о происхождении второго гумусового горизонта в подзолистых почвах Западной Сибири // Тр. Томского ун-та. 1937. Т. 92. С. 43–69.

Пономарева В.В., Толчельников Ю.С. Некоторые данные о составе и свойствах гумуса и вопросы генезиса почв со вторым гумусовым горизонтом южной тайги Западной Сибири // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока, Иркутск: 1968. Вып. 20.

Прокашев А.М. Почвы со сложным органопротилем юга Кировской области. Киров, 1999.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЕТОМ ИСТОРИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОДМОСКОВЬЯ

Л.Б. ИСАЧЕНКОВА, М.И. ГЕРАСИМОВА, М.Д. БОГДАНОВА

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, Москва

Большинство почвенных карт ориентировано на представление природного почвенного покрова, хотя его реальное состояние сильно изменено антропогенными воздействиями. На обширных пространствах таежно-лесной зоны, в том числе и в Подмосковье, вырубки существенно трансформируют свойства почв. Большое количество исследований посвящено процессам почвообразования в сукцессионных рядах растительных сообществ на вырубках [Герасимова, Исаченкова, 2008; Исаченкова, 2007; Карпачевский и др., 1986; Экосистемы..., 2006]. Детальные характеристики свойств почв на вырубках и молодых лесах на их месте, запечатленные в памяти почв, пока не учитываются при составлении почвенных карт. При картографировании антропогенно измененных почв возникают определенные трудности, связанные с динамичностью свойств почв и с недостаточной разработанностью методологии. В данном исследовании предполагается представить авторскую оценку влияния вырубок с последующим лесовосстановлением на свойства дерново-подзолистых почв с целью актуализации традиционной почвенной карты.

В качестве объекта изучения выбрана территория учебно-научной станции (УНС) «Сатино» в юго-западном Подмосковье, где с 1974 г. проводятся полевые практики и научные исследования географического факультета МГУ. Территория хорошо изучена, имеется почвенная карта масштаба 1:10 000, аналогичные тематические карты, монографии (Исаченкова, 2007; Микляева и др., 2018; Общегеографическая ..., 2007; Экосистемы...,

2006). В почвенном покрове доминируют дерново-подзолистые почвы. Различия между природными дерново-подзолистыми почвами невелики и проявляются в степени поверхностной глееватости, небольших колебаниях мощности гумусового и элювиального горизонтов. Одним из основных видов воздействия на почвы территории являются рубки. Эволюция почв вырубок происходит как в условиях стихийного зарастания, так и под посадками.

Исследование включало два блока: историко-картографический и почвенный.

Основой первого была традиционная почвенная карта, аэрофотоснимки трех сроков: 1951, 1986, 2000 гг. и современный космический снимок. Дешифрирование разновременных снимков позволило выявить смены землепользования за последние 75 лет, их систематизировать, на основании чего была составлена карта сценариев землепользования масштаба 1:10 000. Она включала участки с устойчивым землепользованием – постоянно лесные и со сменой угодий – разновозрастными лесами на месте лесопосадок и вырубок.

Почвенный блок основывался на многолетних полевых наблюдениях авторов, детальных морфологических, мезоморфологических и аналитических исследованиях на ключевых участках. Для диагностики почв использовалась классификация почв России (Классификация..., 2004), в которой имеются возможности детального представления свойств почв.

Изучались почвы вырубок разного возраста (0–5, 5–10, 10–20, 20–40, 40–60 лет) и условно-коренных лесов. Для изучения морфологических и химических свойств почв было заложено более 200 разрезов. В масштабах жизни почвы влияние на нее лесохозяйственных мероприятий недолговечно и проявляется почти исключительно в верхних горизонтах, а текстурные горизонты с их высокой устойчивостью почти не реагируют на смену растительных сообществ. Изучение разновозрастных вырубок позволило проследить полный цикл восстановления почв от стадии молодой вырубки (меньше 5 лет) до восстановления леса, близкого к условно-коренному (около 60 лет). Каждому этапу восстановления вырубки соответствуют особые варианты дерново-подзолистых почв.

Дерново-подзолистые почвы условно-коренных мелколиственно-еловых лесов имеют следующий набор горизонтов: АУ-ЕL(g)-BEL(g)-ВТ-С. Они характеризуются высокой степенью текстурной дифференциации, небольшой мощностью серогумусового горизонта АУ, средней глубиной нижней границы горизонта ЕL. Как правило, ясно выражен субэлювиальный горизонт BEL, в верхних горизонтах отмечаются признаки глееватости.

На молодой вырубке (0–5 лет) существенное влияние на почвы оказывают не только технологии рубки, но и приемы лесовосстановления, что усиливает неоднородность

почвенного покрова. Вырубки приводят к значительному изменению свойств почв: активизируется процесс оглеения, разрушается исходная структура верхних горизонтов почв, местами они и вовсе срезаются, так что на поверхности оказывается слабо проницаемый текстурный горизонт ВТ. Почвы на молодых вырубках названы дерново-подзолистыми турбированными вторично поверхностно оглеенными.

По мере зарастания вырубок под влажнолуговыми злаково-разнотравными сообществами и молодым мелколиственным лесом создаются благоприятные условия для гумусообразования, с одной стороны, и «разболачивания», с другой. Турбированный материал предыдущей стадии трансформируется в серогумусовый горизонт. Признаков оглеения меньше, и они свидетельствуют об ослаблении восстановительных процессов. Со временем основные тенденции почвообразования не меняются: продолжается ослабление процессов оглеения, усиление процесса гумусонакопления, активизация почвенной мезофауны, и горизонт АУ приобретает свои характерные признаки.

Формирование лесного ценоза с преобладанием ели через 20–40 лет после рубки с искусственным лесовосстановлением или под еловыми парцеллами при естественном возобновлении приводит к завершению «разболачивания» почв. Признаки оглеения выражены слабо; как и в лесных дерново-подзолистых почвах, они приурочены к элювиальным горизонтам и связаны с сезонным переувлажнением. На вырубках старше 40–60 лет произрастают еловые зеленомошные, еловые кислично-зеленомошные, реже еловые мертвопокровные леса. По морфологическим и химическим свойствам они практически не отличаются от дерново-подзолистых почв условно-коренных лесов. О «вырубочном» прошлом свидетельствуют единичные хорошо разложившиеся порубочные остатки и фрагменты полусгнивших стволов деревьев.

Таким образом, каждому этапу восстановления вырубки соответствует особая разность дерново-подзолистых почв с определенной степенью выраженности морфологических проявлений процессов гумусонакопления и оглеения. Почвы, измененные при лесопользовании, сохраняют типовую принадлежность: «дерново-подзолистые», а изменения соответствуют уровню подтипов, отражающих процессы оглеения, гумусонакопления и механических нарушений.

Изученные на ключевых участках закономерности трансформации почв разных стадий зарастания вырубок были экстраполированы на лесные участки территории УНС Сатино с использованием карты сценариев землепользования. Это позволило детализировать и актуализировать почвенную карту. Под посадками ели 0–5 лет на карте показаны дерново-подзолистые турбированные вторично поверхностно оглеенные; под посадками 10–20 лет –

дерново-подзолистые остаточные турбированные поверхностно-глееватые; под еловым лесом 20–40 лет – дерново-подзолистые грубогумусированные. Елово-мелколиственный лес, близкий к условно коренному, формируется через 40–60 лет, по морфологическим и химическим свойствами почвы практически не отличаются от дерново-подзолистых почв с дифференцированным профилем условно-коренных лесов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Герасимова М.И., Исаченкова Л.Б. "Короткая память" дерново-подзолистых почв в лесовосстановительных сукцессиях // Память почв. М.: URSS, 2008. С. 638-649.
- Исаченкова Л.Б. Изменение свойств дерново-подзолистых почв в сукцессионных рядах восстановления широколиственно-хвойных лесов (на примере юго-западного Подмосковья). Дисс... канд. геогр. наук. М., 2007. 158 с.
- Карпачевский Л.О., Строганова М.Н., Баранова О.Ю. и др. Эволюция почвенного покрова при лесовосстановлении // Успехи почвоведения. Мат-лы Межд. съезда почвоведов. М., 1986. С. 135-142.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Микляева И.М., Кадетов Н.Г., Сулова Е.Г., Вахнина О.В. Многолетняя динамика растительного покрова полигона Сатинской учебно-научной станции // Вестник Моск. ун-та. Серия 5: География, 2018. № 5. С. 89-95.
- Общегеографическая практика в Подмосковье. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2007. 361 с.
- Экосистемы широколиственно-хвойных лесов Южного Подмосковья, М.: Геогр. ф-т МГУ, 2006. 182 с.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА БАЗЕ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**В.Н. КАРМИНОВ, О.В. МАРТЫНЕНКО, П.В. ОНТИКОВ, А.А. БАРАНЕНКОВА,
А.Н. МАКСИМОВА**

Мытищинский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи

В докладе рассматриваются особенности использования свободного программного обеспечения в области геоинформационных систем для целей цифрового почвенного картографирования. Предложенные авторами методики геоинформационного картографирования лесных почв апробированы в научной деятельности и внедрены в учебный процесс при вузовской подготовке специалистов для лесного хозяйства.

Прогресс свободного программного обеспечения в области геоинформационных систем в последние годы особенно заметен на фоне других направлений, например, таких как САПР или офисные программы. Лидирующие позиции в этой сфере уверенно занимает свободная кроссплатформенная геоинформационная система Quantum GIS, под которой, прежде всего, понимают настольную QGIS Desktop. Данный проект стартовал ещё в 2002 году, однако, широкую популярность система приобрела позднее, когда в 2013 году вышла версия 2.0 в которой сложился классический функционал этой программы. Одним из

важнейших преимуществ этой системы является модульный принцип работы с расширениями. Многочисленные пользователи и разработчики QGIS могут разрабатывать собственные модули для расширения базового функционала. Самые популярные модули размещаются в так называемом репозитории (онлайн хранилище), к которому можно получить доступ непосредственно через интерфейс программы при наличии доступа в сеть Интернет. В 2018 году появилась новая версия 3.0, которая уже в формате “из коробки” включила в себя многие функции, которые в версии предыдущего поколения были доступны лишь через отдельно скачиваемые и подключаемые модули. К сожалению, приходится констатировать, что модули, разработанные для версии 2.0 чаще всего не функционируют в версии 3.0. Поэтому, остаётся лишь надеяться на то, что разработчики модулей доработают их до версии 3.0 или пользоваться пока предыдущей версией, поддержка и разработка которой, кстати, не прекращена. На версии QGIS 2.0 основана и родственная российская разработка под названием NextGIS. В рамках этого проекта разработано мобильное приложение для операционной системы Андроид, которое очень удобно для использования в полевых условиях и обеспечивает полную совместимость при обмене геоинформационными данными с QGIS.

QGIS Desktop предоставляет самый широкий функционал для создания карт лесных почв. Картографирование лесных почв имеет свои особенности, в отличие, например, от картографирования почв сельскохозяйственных угодий [1]. Лесные биогеоценозы отличаются более сложными внутренними взаимосвязями, нежели агроценозы. Всё это приводит к появлению значительной пестроты почвенного покрова, которая становится особенно заметной при крупномасштабном и детальном почвенном картографировании. Чем ниже таксономический уровень почвенных разностей, которые исследователь планирует отразить на почвенной карте, тем выше уровень пестроты почвенного покрова будет получен в результате. Программа QGIS позволяет автоматизировать ряд рутинных операций при построении таких почвенных карт, в частности, хорошие результаты удаётся получить, используя модуль обработки векторной геометрии под названием “Полигоны Вороного” [2]. Исходными данными для функционирования этого модуля является точечный векторный слой, атрибутивные данные которого содержат таксономию обнаруженной в данном месте почвы. Выбрав нужный таксономический уровень (тип, подтип, род и др.) исследователь может детализировать или генерализировать визуализацию почвенного покрова. При использовании модуля “Полигоны Вороного” выполняется разделение метрического пространства на отдельные полигоны, в центре которых находятся точки почвенного

опробования. Наилучшие результаты данный метод позволяет получать при достаточно густой сетке точек почвенного опробования. Далее, методы геометрической обработки QGIS полигонов позволяют укрупнить получившиеся полигоны с одинаковыми почвами, имеющих общие границы. Разумеется, полностью автоматизировать построение почвенных карт таким образом пока невозможно, так как окончательная доработка получившихся тематических карт осуществляется вручную почвоведом, с помощью экспертных и эвристических методов, с дополнительным привлечением информации о растительности и рельефе.

В картографировании лесных почв достаточно распространён метод так называемой интерполяции, когда почвенные разности выстраиваются в пространстве согласно эволюционным переходам, обусловленным имеющимся рельефом, как важнейшим фактором распределения влаги. Конечно, такой подход имеет ряд ограничений и идеале должен подтверждаться результатами натурных исследований. Тем не менее, программный комплекс QGIS имеет в своём арсенале инструменты интерполяции данных на основе триангуляции Делоне. Что характерно, при такой обработке точечные векторные данные, отражающие расположение точек почвенного опробования служат основой для получения растрового результата интерполяции, который, в свою очередь, с помощью инструмента создания изолиний, вновь выдаёт слой векторных данных, но уже в виде линий.

Добавление других слоёв, таких как рельеф, растительность в любой форме организации данных (растровая, векторная) вкуче с широкими возможностями по настройке стилей отображения и наложения данных, даёт для почвовед-картографа очень удобный инструмент цифрового картографирования. Совместный пространственный анализ почвенной и лесоводственной информации позволяет поднять на качественно новый уровень биогеоценологические исследования [4].

Учитывая бесплатность платформы QGIS, интенсивное развитие и наличие большого количества обучающей информации, её можно однозначно рекомендовать для использования для решения практически любых задач цифровой почвенной картографии лесных почв [3].

ЛИТЕРАТУРА:

- Докучаев П.М., Жоголев А.В., Кириллова Н.П., Козлов Д.Н., Конюшкова М.В., Лозбенев Н.И., Мартыненко И.А., Мешалкина Ю.Л., Прудникова Е.Ю., Самсонова В.П. Цифровая почвенная картография: учебное пособие/ отв. ред. И.Ю.Савин, П.А. Докукин, М.: Изд-во РУДН, 2017. 152 с.
- Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Онтиков П.В., Бараненкова А.А., Минаков Н.М. Цифровое картографирование лесных почв // Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 85-летию кафедры почвоведения БГУ и 80-летию со дня рождения В.С. Аношко. 2018. С. 162-167.
- Максимова А.Н., Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Онтиков П.В., Минаков Н.М. Возможности ГИС-технологий для рационального использования лесных почв // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 1. С. 112-117.
- Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Грищенко В.А. Возобновление под пологом леса в национальном парке "Угра" // Лесохозяйственная информация. 2018. № 2. С. 35-45.

КАРТИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРА ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

А.Ю. КУДРЯВЦЕВ

Государственный Природный заповедник «Приволжская лесостепь», г. Саратов

Работы по картированию почв весьма трудоемки и дорогостоящи. Поэтому почвенные карты достаточно крупного масштаба для лесных территорий создаются достаточно редко и охватывают лишь небольшие площади. В центре Приволжской возвышенности в разное время были выполнены две масштабные работы по картированию лесных почв.

Детальное картирование лесных почв было выполнено в ходе почвенно-лесотипологическое обследование в 1970 году при проведении лесоустройства Кададинского опытного лесокомбината. Работа была выполнена специалистами Пензенской экспедиции «Росгипрозем». В ходе обследования было заложено 2056 почвенных разрезов и 2037 почвенных прикопок, а также отобрано 2579 образцов для химических анализов. В результате была закартирована территория четырех лесничеств общей площадью 42367 га, при общей площади лесокомбината 96251 га. Эти лесничества расположены в западной части лесокомбината.

В результате были изготовлены следующие материалы:

Почвенная карта, масштаб 1: 25000;

Картограмма глубины залегания скальных пород, масштаб 1: 25000;

Картограмма механического состава, масштаб 1: 25000;

Картограмма подвижных форм фосфора, масштаб 1: 25000;

Картограмма подвижных форм калия масштаб 1: 25000;

Картограмма кислотности почв масштаб 1: 25000;

Сводная ведомость химических и физических анализов почв;

Почвенно-типологические очерки по четырем лесничествам.

На остальной площади лесокомбината почвенное обследование было выполнено методом подробного описания почв в таксационных выделах и закладкой почвенных прикопок с замером и описанием основных почвенных горизонтов. На основании этих материалов были составлены почвенные карты в масштабе 1:50000 для оставшихся пяти лесничеств.

Следующий этап картирования был проведен при базовом лесоустройстве заповедника «Приволжская лесостепь» в 2001 – 2004 г.г. Работы были выполнены сотрудниками Почвенного Института им. Докучаева Белобровым В.П. и Ворониным А.Я.

Почвенной съемкой были охвачены три участка заповедника: «Верховья Суры» 6339 га; «Борок» 399 га; «Кунчеровская лесостепь» 1031 га. Первый участок был выделен в 1990 г. из территории расположенной на крайнем востоке Кададинского лесокombината. Два других находятся значительно южнее. Таким образом, картирование почв заповедника дополнило предыдущую работу.

Во время маршрутных полевых исследований на территории заповедника было заложено 229 основных почвенных разрезов, отражающих закономерности формирования и изменения почвенного покрова. При проведении полевых исследований использовался набор стандартных методов, таких как описание почвенных разрезов и прикопок, взятие образцов почвенным буром, химический анализ образцов на содержание гумуса, кислотность, поглощенные основания, содержание P_2O_5 , K_2O , закладка и описание пробных площадей и профилей, в том числе для описания растительности.

Анализ почвенных образцов проводился в лабораториях массовых анализов и химии почв Почвенного института имени В.В.Докучаева. Почвенные образцы для анализа отбирались по генетическим горизонтам почвенного профиля до глубины 150 см.

Определялись:

- макроэлементы воздушно-сухой навески образцов (10 образцов);
- содержание поглощенных катионов кальция и магния (44 образца);
- рН водной суспензии (63 образца);
- содержание гумуса (44 образца);
- содержание различных форм железа (5 образцов);
- гранулометрический состав (3 образца);
- микроагрегатный состав (3 образца).

На основании полученных материалов с использованием компьютерной программы ARC VIEW GIS 3,2a составлены почвенные карты участков в масштабе 1: 10 000. Картографической основой служила электронная версия гипсометрической съемки участков масштаба 1:10 000 с горизонталями, проведенными через 2,5 м (Белобров, Воронин, Силева, Чернова, 2015; Белобров, Воронин, Баранцев, Кузнецов, 2016).

Результаты картирования позволили выяснить вопросы, связанные с генезисом почв, а также их приуроченностью к определенным элементам рельефа и растительным сообществам.

ЛИТЕРАТУРА:

- Белобров В.П., Воронин А.Я, Силева Т.М., Чернова О.В. Почвы участка «Борок» заповедника «Приволжская лесостепь» // Труды ГПЗ «Приволжская лесостепь», вып. 5. Пенза, 2015. С.16 – 23.
- Белобров В.П., Воронин А.Я, Баранцев П.Е., Кузнецов А.Ю. Карта почв участка «Кунчеровская лесостепь» заповедника «Приволжская лесостепь» // Труды ГПЗ «Приволжская лесостепь», вып. 6. Пенза, 2016. С. 20 – 25.

Научное электронное издание
МАТЕРИАЛЫ VIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ»
24 – 27 сентября 2019 г.

Ответственность за правильность, точность и корректность цитирования, ссылок и перевода, достоверность информации и оригинальность представленных материалов несут их авторы.

Материалы представлены в авторской редакции.

Техническое редактирование: М.А. Данилова

Электронное издание, не имеющее печатных аналогов.

Электронное издание сборника доступно на официальном сайте ЦЭПЛ РАН (раздел «Наука» – «Конференции»): <http://cepl.rssi.ru>